This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

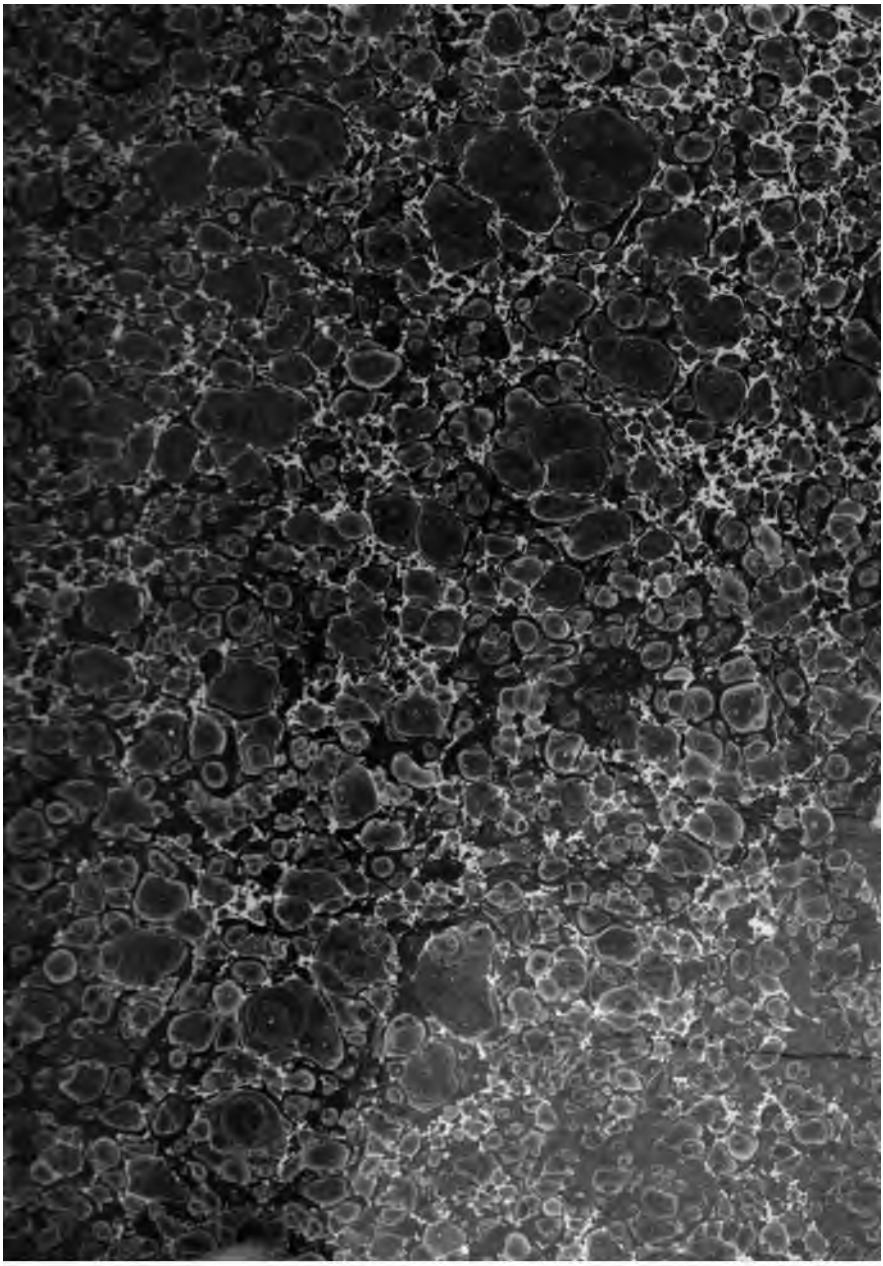
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

48

Bd. Mar 2. 1872.

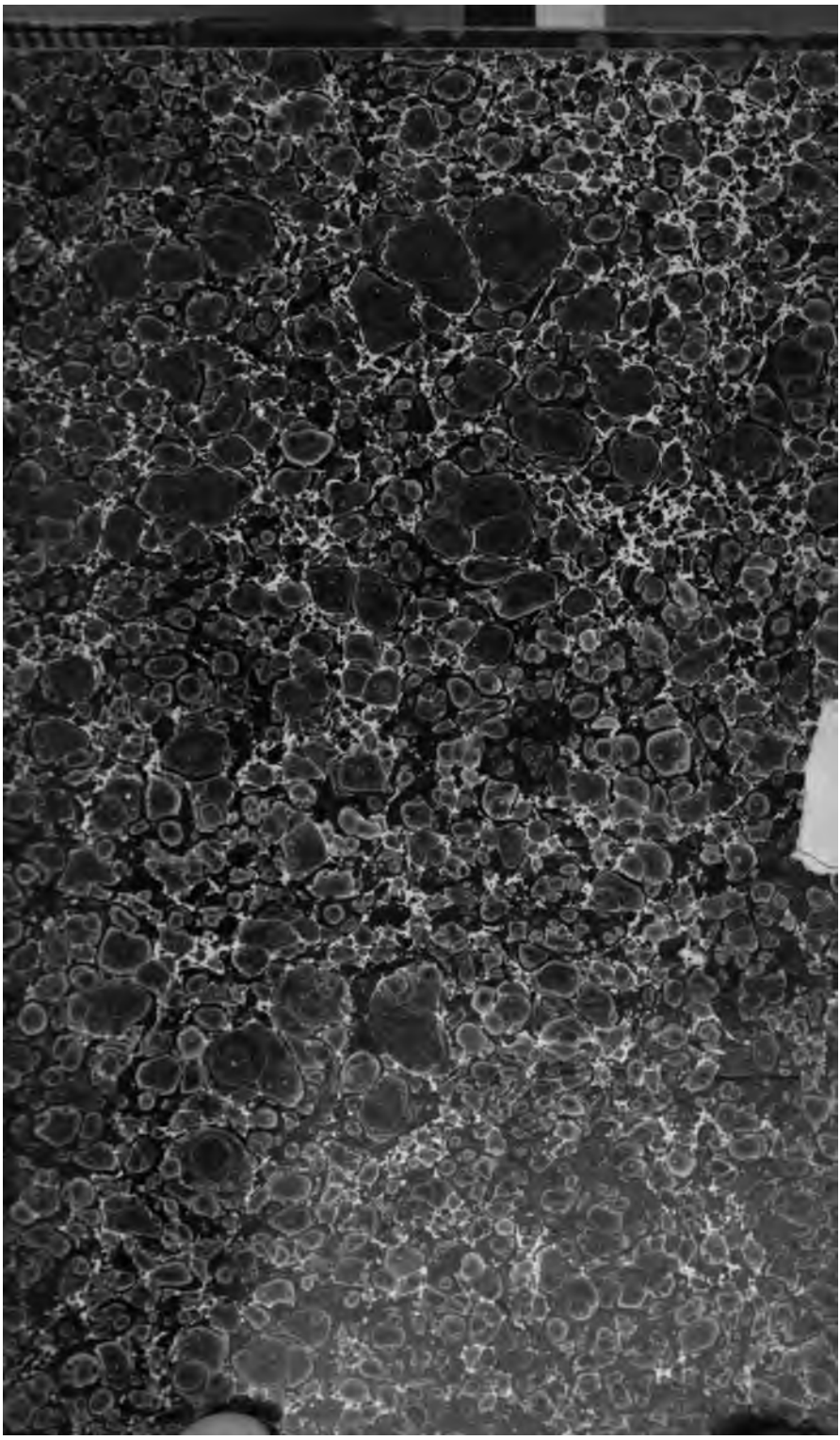
Econ 5958.67

The Gift of
la Commission
Impériale,
26 April, 1869.



Econ 5958.67

SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL:
CHRISTO ET ECCLESIAE
The Gift of
la Commission
Impériale,
26 April, 1869.



EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

A PARIS

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE

M. MICHEL CHEVALIER

Membre de la Commission impériale

TOME DIXIÈME

GROUPE VI. — CLASSES 64 A 66.

PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT

[illegible] RUE DE GRENELLE-SAINT-HONORÉ, 45

1868

36

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867

A PARIS

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE

M. MICHEL CHEVALIER

Membre de la Commission Impériale

TOME DIXIÈME 10

GROUPE VI. — CLASSES 65 ET 66.

PARIS

IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT

45, RUE DE GRENELLE-SAINT-HONORÉ, 45

1868

Econ 5958.67

GROUPE VI

ARTS USUELS

(SUITE)

CLASSE 64

MATERIEL ET PROCÉDÉS DE LA TÉLÉGRAPHIE

Section I. — Applications de l'électricité à la télégraphie, par M. Edmond BECQUEREL, membre de l'Institut, professeur a Conservatoire des Arts et Métiers, membre des Jurys Internationaux de 1855 et 1862.

Section II. — Pose du câble transatlantique, par M. le vicomte de VOUGY, directeur général des lignes télégraphiques.

Section III. — Applications de l'électricité, considérée au point de vue dynamique, par M. Edmond BECQUEREL.

CLASSE 64

MATERIEL ET PROCÉDÉS DE LA TÉLÉGRAPHIE

Section I. — Applications de l'électricité à la télégraphie, par M. Edmond BECQUEREL, membre de l'Institut, professeur a Conservatoire des Arts et Métiers, membre des Jurys Internationaux de 1855 et 1862.

Section II. — Pose du câble transatlantique, par M. le vicomte de VOUGY, directeur général des lignes télégraphiques.

Section III. — Applications de l'électricité, considérée au point de vue dynamique, par M. Edmond BECQUEREL.

CLASSE 64

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA TÉLÉGRAPHIE

SECTION I

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ A LA TÉLÉGRAPHIE

PAR M. ED. BECQUEREL.

CHAPITRE I.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

---

§ 1. — Télégraphes indicateurs.

Les objets exposés se rapportent presque exclusivement à la télégraphie-électrique ; deux appareils sont basés sur la transmission de la pression par l'air ou par l'eau, et le premier seul offre quelque intérêt. La transmission de la lumière n'a donné lieu qu'à quelques dispositions présentées par l'Administration des télégraphes d'Autriche, et qu'à des appareils à signaux en usage dans les chemins de fer. Quant à la propagation du son, elle n'a été utilisée dans aucun des systèmes présentés à l'Exposition.

Depuis l'origine de la télégraphie électrique, les télégraphes

ont subi bien des modifications, et cela suivant l'usage auquel on les emploie et suivant les besoins du service télégraphique. Déjà, en 1862 (1), à Londres, à l'Exposition Universelle, on avait pu remarquer une tendance à substituer les télégraphes traceurs ou imprimeurs aux télégraphes indicateurs ; à l'Exposition actuelle, cette tendance est encore plus marquée, car la plupart des télégraphes exposés sont, ou des télégraphes du système Morse, ou des télégraphes imprimant les dépêches en caractères d'imprimerie, ou enfin des télégraphes autographiques. Ces télégraphes sont, en effet, presque généralement employés pour la correspondance ordinaire, et les télégraphes indicateurs ne sont utilisés que pour le service des administrations comme les chemins de fer, où il n'est pas nécessaire d'une succession très-rapide de dépêches.

M. Bréguet (France) a exposé son système de télégraphe ndicateur à cadran, à courant de pile, dont les bonnes qualités sont généralement reconnues, et qui est employé dans la plupart des chemins de fer français et sur un certain nombre de lignes cantonales de l'État ; il a été adopté récemment en Angleterre pour les communications électriques que les négociants établissent pour leurs affaires, soit entre deux points d'une même ville, soit entre deux villages ou même deux villes voisines.

L'appareil fonctionne avec le courant d'une pile, mais on peut employer à volonté un manipulateur magnéto-électrique ; le système de MM. Guillot et Gatjet, construit par M. Bréguet, permet d'obtenir ce résultat et fonctionne assez simplement ; ce manipulateur, en effet, est formé d'armatures en fer doux, portant quatre bobines, et mobiles devant un aimant permanent. Quant au récepteur, il faut qu'il soit à inversement, c'est-à-dire que son aiguille avance d'une lettre sur le cadran pour chaque courant qui le traverse, les courants d'induction se succédant alternativement en sens contraire.

(1) Voir *Rapports des membres de la section française du Jury International à l'Exposition Universelle de Londres de 1862*, t. IV, p. 125.

M. Wheatstone (Angleterre) a exposé son télégraphe magnéto-électrique à cadran, destiné à la télégraphie militaire. Cet appareil est très-intéressant en raison de la facilité avec laquelle on met en jeu le clavier du manipulateur et de la rapidité de transmission des signaux. L'emploi des touches facilite aussi beaucoup le jeu de l'instrument.

MM. Siemens et Halske (Prusse), ainsi que MM. Digney frères (France), ont présenté des télégraphes indicateurs avec manipulateurs magnéto-électriques, dont la forme d'électro-aimants est celle qui a été imaginée par M. Siemens et qui est déjà en usage depuis plusieurs années.

On doit encore citer comme télégraphe indicateur l'appareil dont la forme est celle du galvanomètre de M. Thomson. Cet appareil n'est autre qu'un magnétomètre dont le miroir réfléchit l'image de la flamme d'une bougie; et, suivant le déplacement de l'image, l'observateur juge du déplacement de l'aiguille. En raison de la faible masse de l'aiguille et du miroir, cet appareil est d'une extrême sensibilité ; aussi est-il employé comme télégraphe pour les dépêches transmises par le câble transatlantique et remplace-t-il l'ancien télégraphe à aiguille. Il se trouvait parmi les appareils exposés par M. Elliot (Angleterre).

§ 2. — Télégraphes enregistreurs.

Les appareils du système Morse sont les appareils les plus simples, et, pour cette raison, les plus usuels pour le service télégraphique ordinaire; en général, ils tracent les dépêches à l'encre d'imprimerie suivant la disposition donnée par MM. Digney frères (France), d'après laquelle, par le jeu de l'instrument, la bande de papier qui se déroule est approchée, à chaque aimantation de l'électro-aimant, d'une molette toujours encrée. Cette disposition constitue un perfectionnement très-réel que l'expérience de dix ans est venue consacrer; aussi l'Administration française, à la suite d'expériences multipliées, l'a-t-elle adoptée de préférence aux autres.

En général, ces télégraphes fonctionnent avec la clef mue à la main et des courants de piles, et l'on ne peut guère transmettre plus de 18 à 20 dépêches de 15 mots par heure. On a bien proposé de composer les dépêches à l'avance à l'aide de types analogues à des caractères d'imprimerie, et, alors, les dépêches une fois composées, leur rapidité de transmission serait plus grande, mais il faut toujours le même temps pour qu'un employé compose chaque dépêche, et, d'après cette disposition, il faudrait toujours le même nombre d'employés ; on ne gagnerait que la facilité de pouvoir envoyer par un même circuit un plus grand nombre de dépêches dans un temps déterminé. Jusqu'ici, les différents systèmes proposés pour agir ainsi n'ont pas été appliqués à un service courant.

En parlant des appareils de ce genre, on doit mentionner le télégraphe à déclanchement automatique de M. Sortais (France), avec lequel l'employé n'a pas besoin d'être à côté du récepteur, lors de la transmission de la dépêche. L'appareil se met en marche dès que le manipulateur fonctionne, et s'arrête quand celui-ci a terminé son action ; il est d'un emploi facile et résout parfaitement le problème de la marche automatique du télégraphe système Morse.

La plupart des constructeurs d'appareils télégraphiques ont exposé des appareils du système Morse ; on doit citer notamment, pour la bonne exécution qu'ils donnent à leurs instruments, M. Leopolder (Autriche), et M. Hipp (Suisse). Ces appareils fonctionnent en général avec des courants de pile ; cependant, on se sert également de manipulateurs ou clefs magnéto-électriques. On distingue particulièrement, parmi ces derniers, la disposition donnée par M. Siemens, qui est bien connue, ainsi que celle du nouveau manipulateur exposé par M. Bréguet, et qui nous a paru simple et d'un bon emploi.

§ 3. — Télégraphes imprimeurs.

Parmi les télégraphes imprimeurs, on doit parler d'abord de celui qui a été imaginé par M. Hughes. Ce télégraphe avait été

présenté au gouvernement français en 1860 ; il avait été construit antérieurement et essayé en Amérique, mais il était loin du degré de perfection auquel il est arrivé aujourd'hui. Il n'avait pas été exposé à Londres en 1862 ; cependant le rapport du Jury français en donne une description succincte et mentionne les perfectionnements dus à notre regretté collègue Froment. Cette année, des modèles sont placés dans l'Exposition de l'Administration française ainsi que dans celles de MM. Dumoulin-Froment et Hardy (France).

On peut regarder l'appareil Hughes comme une solution du problème de l'impression à grande vitesse des dépêches télégraphiques en caractères d'imprimerie. Dans la pratique, il permet de transmettre normalement 40 dépêches à l'heure ou environ 16 mots par minute sur une ligne de 600 à 800 kilomètres. Il se distingue complétement des autres appareils imprimeurs par les moyens nouveaux et simples à l'aide desquels s'établit et se règle le synchronisme des deux appareils correspondants, servant alternativement à la transmission et à la réception, par la disposition ingénieuse du mécanisme imprimeur, le mode d'action du courant et surtout par la possibilité d'imprimer à volonté chaque caractère ou chaque chiffre par une seule émission de courant électrique.

L'Administration française a pu, par son emploi, suffire à moins de frais au développement du service que devait amener la réduction des taxes. L'adoption du système Hughes, qui dispensait de multiplier les conducteurs sur les grandes lignes, a donc facilité la réalisation de cette mesure et largement contribué à l'extension des communications télégraphiques. La forme même dans laquelle il imprime et qui a fourni le moyen de livrer au destinataire la dépêche imprimée par l'appareil, sans traduction préalable, ainsi que le moyen ingénieux de contrôle des transmissions constituent encore, dans la pratique, de grands avantages. A ces divers points de vue, l'appareil Hughes qui fonctionne déjà sur les principales lignes du réseau français, et qu'adoptent successivement les gouvernements étrangers, a

rendu de grands services en télégraphie. Il constitue encore, par sa précision, un instrument de recherches qui a permis à M. Hughes de faire d'intéressants travaux sur l'électricité et les électro-aimants, ayant eu pour résultat d'indiquer dans une très-large mesure la sensibilité des appareils. On peut donc dire que cet appareil a, pour la correspondance ordinaire, réalisé un des grands progrès de la télégraphie électrique depuis son origine.

Les autres télégraphes imprimeurs qui sont à l'Exposition sont des appareils à moyenne vitesse et ne dépassent pas la vitesse de 20 à 22 dépêches par heure, c'est-à-dire que, sous ce rapport, ils sont à peu près dans les mêmes conditions que l'appareil Morse pour la rapidité de transmission. Un certain nombre d'entre eux utilisent la lame battante et font usage de ce que les constructeurs ont appelé un électro-aimant paresseux, c'est-à-dire d'un électro-aimant dont le maximum d'énergie n'est donné que quand le courant électrique passe pendant un temps notable.

On peut citer d'abord le télégraphe de M. Guyot d'Arlincourt. Cet instrument avait paru à Londres en 1862; mais, depuis, son auteur l'a beaucoup perfectionné. Il serait impossible, sans le secours de figures, de décrire ces télégraphes; on peut dire seulement que celui-ci repose sur le principe du trembleur électrique. Une aiguille tourne au centre d'un cadran autour duquel des touches portent les différentes lettres de l'alphabet, quand on agit sur l'une, l'aiguille s'arrête, et, à l'extrémité de la ligne, l'appareil correspondant donne le même signe. La pile qui fait tourner l'aiguille à la station de départ n'est pas la même que celle qui agit sur le poste correspondant : c'est un courant local. L'appareil porte deux mouvements d'horlogerie ; l'un qui fait tourner l'aiguille, la roue à types et une roue interruptrice qui transmet le courant de ligne, l'autre agit sur le marteau qui donne l'impression de la dépêche; ainsi l'appareil fait fonction de télégraphe indicateur à lettres et de télégraphe imprimeur. Cet instrument est em-

ployé avec succès depuis plusieurs années à Paris et dans plusieurs stations environnantes, et l'on a trouvé qu'il a toujours fonctionné régulièrement et avec certitude; mais il ne peut avoir que la vitesse des appareils à cadran, c'est-à-dire celle indiquée plus haut.

L'appareil exposé par MM. Digney (France) est un télégraphe système Morse transformé en télégraphe imprimeur; un mécanisme spécial agit comme dans le télégraphe de M. Hughes et permet à la même roue à types d'imprimer à volonté des caractères ou des chiffres.

M. Joly (France) a exposé un appareil de ce genre, dont la disposition paraît bonne; il a deux roues à types, l'une pour les caractères, l'autre pour les chiffres; c'est le mouvement d'un ressort, consistant en une lame vibrante, n'arrivant au contact que lorsque la manivelle du manipulateur indique la lettre à imprimer, qui constitue la principale pièce de l'organe imprimeur.

M. Morenes (Espagne) a exposé un appareil qu'il a fait construire par M. Vinay et qui imprime des lettres ou des chiffres comme les appareils précédents. Une lame battante est mise en mouvement au moment où le manipulateur fonctionne, et ce n'est qu'au moment où, dans le manipulateur, on s'arrête sur le signe à transmettre, que l'impression se fait; cette impression, du reste, a lieu d'une manière sûre et par une disposition ingénieuse.

On a pu remarquer également un appareil imprimeur de M. Dujardin (France), dans lequel les deux roues à types pour imprimer les caractères ou les chiffres, ayant des axes différents, par un simple mouvement de bascule, viennent se placer en face du papier.

Il est nécessaire que ces divers appareils imprimeurs soient placés en ligne, pendant un certain temps, pour que l'on puisse juger des services qu'ils peuvent rendre.

§ 4. — Télégraphes autographiques.

Plusieurs télégraphes autographiques étaient inscrits au catalogue de l'Exposition ; deux seuls ont fonctionné : le pantélégraphe électro-chimique de M. l'abbé Caselli et le télégraphe autographique de M. Lenoir, traçant les signes transmis à l'encre d'imprimerie. On sait que le pantélégraphe de M. Caselli donne d'une manière simple et ingénieuse le moyen de reproduire à l'une des stations le fac-simile d'un tracé fait à l'encre d'imprimerie sur du papier d'étain à l'autre station, et cela, dans des conditions telles que la reproduction électro-chimique du dessin a la même dimension ou une dimension moindre que celle de l'original. M. Backwell avait exposé, en 1851, à l'Exposition Universelle de Londres, un appareil donnant des résultats analogues, mais qui devait être considéré comme un appareil de démonstration plutôt que comme un télégraphe pouvant fonctionner couramment en ligne. M. Caselli, au contraire, a suivi pendant plusieurs années avec la plus grande persévérance la marche de son télégraphe construit dans les ateliers de M. Froment, l'a perfectionné, et l'emploi que l'on en fait à l'administration à Paris, montre que cet instrument peut servir dans la pratique courante.

M. Lenoir (France) a résolu le même problème d'une autre manière ; le tracé du dessin n'est pas électro-chimique, il se fait à l'aide d'une molette encrée, qui est attirée sur le papier à l'instant où le courant passe sur la ligne. La partie essentielle de son instrument, et la plus ingénieuse, est la disposition employée pour avoir le synchronisme des mouvements des cylindres des appareils des deux postes. C'est l'électricité elle-même qui se charge du rôle de régulateur, et la disposition employée par M. Lenoir a quelque analogie avec celle dont M. Vérité avait fait usage, il y a plusieurs années, pour régulariser la marche de deux pendules et les forcer à faire leurs oscillations exactement dans le même temps. Une fois le synchronisme assuré, la marche de l'appareil est facile à suivre.

L'appareil de M. Lenoir n'a pas encore marché pendant longtemps sur une longue ligne; et l'on ne peut affirmer qu'il fonctionnera aussi bien à de grandes distances qu'à une petite distance.

L'avantage des télégraphes de ce genre est très-grand, car on a, avec ces appareils, le fac-simile de l'écriture, on reproduit les dessins; enfin, on peut avoir la reproduction exacte de la dépêche. Mais, d'un autre côté, jusqu'à présent, ces télégraphes n'ont pas eu toute la rapidité désirable; on le conçoit aisément si l'on remarque d'abord que les lettres ou les signes à transmettre doivent avoir une certaine dimension; ensuite, comme le style qui fait passer ou interrompt le courant, se promène aussi bien sur le blanc du papier que sur le noir de l'écriture, on perd, comme transmission télégraphique, tout le temps pendant lequel le style passe sur les blancs; dans les télégraphes imprimeurs, surtout dans celui de M. Hughes, le temps perdu est beaucoup moindre. Aussi les télégraphes autographiques, jusqu'ici, sont-ils restés dans les limites de vitesse des appareils ordinaires, c'est-à-dire de 20 à 22 dépêches à l'heure (1).

§ 5. — Appareils divers, rhéostats, sonneries, etc.....

Comme appareils télégraphiques ne rentrant pas dans les catégories précédentes, on doit signaler les appareils télégraphiques exposés par M. Glœsener, professeur à Liége. On sait que c'est à M. Glœsener qu'est dû, dès l'origine de la télégraphie, l'emploi des armatures aimantées et le renversement des

(1) Depuis la rédaction de ce rapport, nous avons vu, à l'administration des télégraphes, le télégraphe automato-autographique de M. Meyer, qui n'était pas terminé lors des travaux de la commission. Cet appareil intéressant a un autre mode de synchronisme que ceux des télégraphes dont il vient d'être question, et la disposition au moyen de laquelle il trace les dépêches à l'encre d'imprimerie est extrêmement ingénieuse et nouvelle; en outre, il fonctionne avec une grande rapidité et, au lieu de se trouver dans les limites de 20 à 23 dépêches à l'heure, il peut aller jusqu'à 60; il permet donc d'espérer prochainement la solution de la télégraphie-autographique rapide.

courants électriques dont on fait usage depuis dans un grand nombre d'appareils; c'est un des principes le plus souvent utilisés aujourd'hui. M. Glœsener a exposé plusieurs télégraphes, et, entre autres, un appareil pouvant servir à déterminer les longitudes terrestres. On remarque également un télégraphe à deux molettes dont l'emploi pourrait peut-être donner de très-bons résultats.

MM. Digney frères, avec les appareils qu'ils ont imaginés et dont on a parlé plus haut, ont présenté à l'Exposition des instruments de précision à l'usage de la télégraphie, tels que boussoles, galvanomètres, rhéostat à fils métalliques et à mercure, rhéostats à colonne liquide d'une très-grande résistance et d'un emploi très-commode, sonneries électriques, dont l'exécution ne laisse rien à désirer et qui ont particulièrement attiré l'attention.

Dans l'exposition de M. Bréguet se trouvent des appareils télégraphiques d'usage très-divers qui offrent pour la plupart des dispositions imaginées par lui. On doit citer, après les appareils dont il a déjà été question, un nouveau système de sonnerie dite électro-mécanique. L'idée consiste dans l'emploi du trembleur électrique automatique; comme moteur, à chacun de ses mouvements, il pousse une roue à rochet et, par le moyen d'une courbe en limaçon montée sur l'axe du rochet, un marteau assez lourd est soulevé, puis il retombe arrivé à l'extrémité du limaçon en frappant sur une cloche. Le mouvement continuerait ainsi pendant tout le temps que l'on maintiendrait le circuit fermé, mais la sonnerie est chargée d'établir elle-même le courant d'une pile locale qui prolonge l'action pendant un tour complet de la roue à rochet et de le rompre ensuite par une opération identique. Cet appareil est susceptible de plusieurs applications; il paraît avoir sur les sonneries à rouages l'avantage qu'on n'a pas à le remonter et sur les sonneries trembleuses à relais l'avantage que la fonction de la sonnerie s'arrête d'elle-même après un certain temps et ne dure pas indéfiniment.

Les sonneries électriques, du reste, sont des appareils télégraphiques d'économie domestique qui se sont multipliés beaucoup dans ces dernières années; on peut citer notamment M. Grenet et M. Prudhomme (France) comme se livrant à la fabrication des instruments de ce genre. Les appareils qu'ils ont exposés sont bien établis et fonctionnent très-simplement.

M. Walker a exposé des sonneries fonctionnant par l'air comprimé, qui n'empruntent pas l'électricité pour agir et qui paraissent dans de bonnes conditions et pouvant être utilisées surtout dans des circonstances où la transmission des signaux se fait à faible distance.

Quant aux appareils à signaux à l'usage des chemins de fer, soit qu'ils fonctionnent à l'aide de l'électricité, soit autrement, ce sont des appareils très-utiles et très-intéressants, mais qui ont été examinés par une autre classe que celle de la télégraphie. On doit mentionner cependant l'appareil présenté par M. Bernier (France), qui sert utilement de contrôleur, de sonnerie électrique pour la marche des trains; les systèmes de signaux pour chemins de fer, exposés par le chemin de fer du Nord (Autriche), celui présenté par M. Preece (Angleterre), par MM. Saxby et Farmer (Angleterre), ainsi que les dispositions proposées par Mme Gordon pour mettre en communication télégraphique entre eux les différents wagons d'un convoi.

CHAPITRE II.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

---

§ 1. — Piles diverses.

En 1855 et en 1862, on avait pu remarquer l'effort des constructeurs pour substituer les courants magnéto-électriques

aux piles voltaïques dans les télégraphes; cette année, à part quelques appareils dont il a été question dans le chapitre Ier, les télégraphes fonctionnent avec les piles voltaïques; il semble que les idées des physiciens et des ingénieurs se soient tournées vers la construction des appareils traceurs ou imprimeurs.

Parmi les couples dont sont formées les piles, il y a peu de dispositions nouvelles à signaler. On sait que depuis l'invention des piles à courants constants par M. Becquerel, en 1829 (1), bien des dispositions ont été indiquées pour les expériences scientifiques et pour les applications. Toutes ces dispositions reviennent à peu près au même et sont fondées sur le principe qu'il a énoncé, c'est-à-dire sur la dépolarisation de la lame négative par l'action d'un sel dissous (en général le sulfate de cuivre), ou bien par l'influence d'un corps solide réductible comme le peroxyde de manganèse; il a également montré plus tard que l'acide azotique placé au pôle négatif d'un couple agissait de la même manière en s'emparant de l'oxygène, et construit la pile acide azotique-potasse dans laquelle il n'y a aucun métal attaquable. En 1836, sept ans après, M. Daniell donna au couple imaginé par M. Becquerel une disposition un peu différente, mais qui n'introduisait aucun principe nouveau; on a donc regardé à tort M. Daniell comme l'inventeur du principe sur lequel repose la disposition du couple qui porte son nom.

La pile à sulfate de cuivre est encore employée avec avantage dans le service télégraphique; à la forme ordinaire, on a substitué d'abord la disposition indiquée par M. Callaud et dans laquelle il n'y a aucun diaphragme. En Allemagne, on fait usage de la disposition donnée par M. Maidinger et qui ne diffère de la précédente qu'en ce que le sulfate de cuivre se trouve dans un tube de verre qui repose par un de ses bouts dans le vase en verre, lequel est placé dans un large bocal rempli d'eau et dont le niveau dépasse celui du premier vase.

(1) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. XLI, p. 1, 1829.

Le cuivre plonge dans le vase intérieur et le zinc entoure le tube à sulfate de cuivre. En Italie, on se sert de la disposition employée par M. Minotto et ne différant des dispositions qui précèdent qu'en ce que la séparation des liquides, qui baignent le zinc et le cuivre, a lieu par une couche perméable de sable. En France, on fait usage depuis plusieurs années de la pile à sulfate de mercure, qui a l'avantage d'être une source électro-motrice assez grande, quoique le charbon se polarise, et qui est de longue durée; elle se tient toujours propre. Dans les expériences qui exigent une pile peu résistante et qui ne doit pas être de longue durée, on emploie simplement une pile dont le zinc de chaque couple plonge dans l'eau et dont l'électrode négative est une tige en charbon plongeant dans une dissolution acide de bichromate de potasse.

M. Leclanché a exposé des couples à peroxyde de manganèse, en recommandant de se servir d'une dissolution de sel ammoniac comme dans la pile de Bagration; ces couples paraissent donner de bons résultats et présenter une assez longue durée.

En somme, piles à sulfate de cuivre, piles à sulfate de mercure ou à peroxyde de manganèse, elles donnent toutes de bons effets, pourvu qu'on tienne propres les contacts; on a toujours assez d'électricité pour faire fonctionner les appareils, et la tension seule est à rechercher quand les lignes télégraphiques sont longues et que les fils ne sont pas bien isolés. C'est en raison de cela que, pour les besoins de la télégraphie, la plupart des piles que l'on possède maintenant donnent de l'électricité en quantité suffisante, et que l'on se préoccupe peu de leurs dispositions particulières pourvu que leur durée soit grande et qu'elles ne soient pas encombrantes.

§ 2. — Piles de polarisation.

Deux batteries de polarisation sont exposées; l'une présentée par M. Thomsen (Danemark), l'autre par M. Leclanché (France). Celle de M. Thomsen comprend 60 à 80

paires de plaques de platine formant électrodes dans les couples isolés, et qu'un couple à acide nitrique polarise successivement dans un temps très-court. Pour atteindre ce but, les extrémités de ces électrodes sont placées sur une même circonférence, et un mouvement continu de rotation amène en contact avec elles successivement les deux électrodes du couple à acide nitrique. Ces couples polarisés sont en rapport l'un avec l'autre et sont montés en tension d'une manière constante; ainsi la charge de chaque paire de lames est successive, et le courant envoyé dans la ligne par la batterie de polarisation est continu. Cette batterie est à proprement parler une pile secondaire analogue à celle que Ritter avait construite au commencement du siècle; on transforme, pour ainsi dire, l'électricité de quantité du couple actif en électricité de tension dans la batterie secondaire. Cet appareil, dit-on, a la force électro-motrice d'une batterie à sulfate de cuivre de 100 couples. Nous n'avons pas connaissance qu'elle ait déjà fait un service continu sur une ligne télégraphique.

L'appareil de M. Leclanché n'a pas pour but de remplacer totalement la pile de ligne; il est formé d'une pile et d'une batterie de polarisation, toutes deux dans le circuit télégraphique; on profite des temps perdus pendant lesquels le courant de la pile est interrompu à chaque deux lettres du manipulateur, pour exciter la batterie de polarisation, qui, dans l'instant suivant, vient augmenter l'effet de la pile de ligne; ainsi, la pile ne fonctionne que pendant la moitié du temps des opérations, mais la tension électrique est augmentée et tend à être double.

§ 3. — Appareils d'induction.

Si les piles actuelles sont très-commodes et suffisent aux besoins de la télégraphie, il y a d'autres applications pour lesquelles on se préoccupe beaucoup aujourd'hui d'augmenter la puissance du dégagement de l'électricité. Bien que

l'examen des appareils fondés sur ces principes n'ait pas occupé particulièrement la classe 64, il est indispensable d'en parler ici en raison de l'importance du sujet. Si les machines magnéto-électriques de la société *l'Alliance*, donnent de l'électricité en quantité suffisante pour l'éclairage électrique, d'un autre côté l'appareil imaginé par M. Holtz montre qu'une très-petite quantité d'électricité statique peut fournir indéfiniment de l'électricité à distance comme un électrophore dont on ferait varier la position entre le disque, et le gâteau électrisé pourrait agir d'une manière continue. Dans l'un et l'autre cas, on a l'exemple d'un dégagement d'électricité qui est entretenu par une action mécanique, tant que celle-ci s'exerce, et qui est en proportion avec elle.

M. Wild, il y a un an, a notablement augmenté la puissance des appareils d'induction en se servant du courant même développé par induction, pour augmenter l'énergie de l'électro-aimant qui produit les courants induits ; dans ce cas, c'est par augmentation de vitesse que l'appareil fonctionne. M. Siemens, à l'Exposition actuelle, a présenté un appareil très-curieux et d'après lequel l'électro-aimant actif n'a besoin que d'avoir un résidu d'aimantation pour commencer l'action inductive, et aussitôt que l'appareil est mis en rotation, la puissance magnétique de l'électro-aimant augmentant, le courant électrique augmente en énergie. M. Lead, constructeur anglais, a exposé un appareil de ce genre, d'après les dispositions indiquées par M. Wheatstone. Dans ces deux appareils, la vitesse de rotation des électro-aimants est nécessaire pour que l'on ait une action énergique, et il faut que ceux-ci reçoivent au moins un mouvement de 2,000 tours par minute ; jusqu'ici les appareils qui tournent avec cette rapidité s'échauffent et ne peuvent guère maintenir leur travail d'une manière continue pendant longtemps ; il est nécessaire que l'on parvienne à vaincre cette difficulté si l'on veut les employer industriellement. Quant aux machines magnéto-électriques construites par la Société *l'Alliance*, elles sont plus encombrantes, mais

comme elles ne font que 200 tours par minute, elles peuvent travailler sans interruption, comme le démontre l'expérience de l'éclairage électrique du phare de la Hève.

CHAPITRE III.

CONDUCTEURS. — CABLES.

L'établissement d'un câble télégraphique entre l'Europe et l'Amérique est une des plus grandes entreprises de notre époque et aurait dû avoir sa place marquée à l'Exposition Universelle de 1867. On sait, en effet, que cette entreprise reconnue possible en 1858, puisque le câble établi par la Compagnie anglo-américaine, à cette époque, permit de faire passer les dépêches entre l'Europe et l'Amérique pendant environ trois semaines, ne put être considérée comme définitivement acquise à l'industrie que depuis l'année 1866. Il est donc à regretter que les Compagnies du câble transatlantique n'aient envoyé aucun produit ni donné aucun détail à l'Exposition de cette année ; il eût été très-intéressant de connaître quels sont les effets perturbateurs dus aux courants d'induction développés dans cet immense circuit sous-marin, et quels sont les détails des effets observés lors de la transmission des courants électriques. On sait seulement que, jusqu'ici, le fil est parfaitement isolé sur toute sa longueur ; que l'on emploie comme appareil télégraphique pour transmettre les signaux un galvanomètre dont il a été question précédemment, et qui permet de voir le déplacement de l'image d'une flamme, comme on se servirait du déplacement d'une aiguille aimantée dans le télégraphe à aiguille ; on sait, en outre, que l'on est obligé de mettre le fil du câble en communication avec la terre à chaque fois que l'on fait passer un courant électrique, et que la vitesse moyenne de transmission des dépêches est, quant à présent, de six à huit mots par minute.

Les seuls fabricants de câbles qui se soient présentés à l'Exposition sont MM. Rattier et Cie (France), M. Hooper et M. Henley (Angleterre), et MM. Felten et Guillaume (Prusse). La Compagnie anglaise de gutta-percha n'a envoyé aucun produit.

MM. Rattier et Cie, à Besons (Seine), ont introduit les premiers en France la fabrication des câbles télégraphiques que l'on ne construisait d'abord qu'en Angleterre. Ce qui doit distinguer l'établissement de MM. Rattier, c'est qu'on y fabrique des câbles, tant pour obtenir l'isolement du fil que pour l'armer intérieurement ; or, les fabriques de câbles télégraphiques construisent habituellement soit le conducteur environné de gutta-percha ou de caoutchouc, c'est-à-dire l'âme du câble, soit l'armature extérieure ; ces deux genres de fabrication sont donc réunis ici dans le même établissement. Dans cette usine les moyens les plus efficaces sont employés pour obtenir le meilleur isolement possible, aussi les conducteurs livrés au public sont-ils dans un état d'isolement au moins égal et même supérieur à celui des conducteurs provenant d'autres fabriques. L'Administration télégraphique française a pu apprécier la qualité de ces produits, car la plupart des câbles destinés au service sémaphorique, ainsi qu'aux colonies françaises et à d'autres lignes, proviennent des ateliers de MM. Rattier. D'un autre côté, les conducteurs souterrains qu'ils ont fabriqués sont encore après plusieurs années dans un état parfait de conservation, et le système souterrain à Paris, qui comprend environ 2,000 kilomètres de fils, est remarquable par son isolement ainsi que par la constance et l'uniformité des résultats obtenus. MM. Rattier ont donné en outre de nouvelles dispositions aux câbles, et les ont entourés soit de tubes de plomb soit de tubes en fer suivant l'usage auquel on les destine.

M. Hooper, de Londres, a exposé des fils isolés avec caoutchouc pour câbles télégraphiques sous-marins, souterrains et aériens. Il enveloppe d'abord le conducteur d'une couche de

caoutchouc qu'il entoure d'une matière séparatrice (feuilles métalliques ou chanvre), et par-dessus il applique le caoutchouc vulcanisé, puis ensuite cette triple enveloppe est armée et entourée comme à l'ordinaire. Cette préparation a pour but de préserver le fil de cuivre central de toute sulfuration, et par conséquent d'assurer au câble une longue durée. Depuis plusieurs années que les câbles fournis par l'usine de M. Hooper ont été en usage, les rapports fournis par les ingénieurs ont constaté leur bon isolement, leur parfaite conservation et la manière dont ils supportent les variations de température ; sous ce rapport ils sont précieux pour les contrées tropicales.

M. Henley et MM. Felten et Guillaume ont exposé également des câbles sous-marins ; mais leur fabrication se rapporte à l'armature extérieure et ils ne construisent, pas l'âme des câbles comme la Compagnie de gutta-percha, ainsi que M. Rattier et M. Hooper.

Nous ne mentionnons pas ici les câbles et fils isolés par des couches de bitume, ou qui sont noyés dans les masses bitumineuses, car on a reconnu que les déplacements du sol en faisant naître des fissures pouvaient détruire l'isolement des fils ; néanmoins, dans des circonstances déterminées, ces moyens peuvent être utilisés. Telles sont les dispositions indiquées par MM. Machabée (France) et Nicoll (Angleterre). Il faut signaler encore, à propos de ce sujet, les tuyaux en fonte à rainure de M. Delperdange (Belgique) qui paraissent devoir donner de bons résultats et qui permettent de vérifier l'état des câbles après un certain temps.

Parmi les fabricants de conducteurs en fils isolés, nous devons signaler d'une manière particulière Mme Bonis (France), dont les fils de cuivre ou de fer, entourés de soie ou de coton, sont dans des conditions parfaites d'isolement. Nous avons vu des fils des plus petits numéros du commerce, nos 40 et 60, aussi bien isolés que les fils moyens ; aussi ses produits sont-ils avec raison recherchés de tous nos constructeurs.

CHAPITRE IV.

MATÉRIEL DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES. — SYSTÈME PNEUMATIQUE. — SUPPORTS. — DISPOSITIONS DIVERSES ET ACCESSOIRES.

Les différents appareils télégraphiques généralement en usage ainsi qu'un grand nombre d'accessoires, sont exposés par les administrations publiques de plusieurs gouvernements. En premier lieu on doit placer, en raison de son importance, l'Administration française des lignes télégraphiques; puis, viennent les Administrations du gouvernement prussien et le système de télégraphie militaire du gouvernement autrichien.

L'Administration française a exercé une action très-réelle sur presque toutes les branches de la télégraphie, et bien des améliorations obtenues sont dues à son influence. Elle a, entre autres, généralisé l'emploi du télégraphe imprimeur de M. Hughes et prêté son concours pour l'usage de ceux de M. Caselli, de M. Morse (système Digney) et de M. d'Arlincourt.

L'exposition de la Direction générale comprend en outre des modèles des divers systèmes employés en France depuis le télégraphe aérien des frères Chappe, des spécimens des divers objets, poteaux, fils, isolateurs, manchons, câbles, etc.; elle comprend aussi des cartes indiquant l'organisation des fils ou la disposition du réseau télégraphique de France et celui d'Europe, ainsi que des plans des appareils construits pour l'envoi des dépêches, dans des tubes, par l'air comprimé au moyen de la pression hydraulique. Un système spécial de lignes souterraines, destiné surtout à amener à la station centrale les fils nombreux venant de la province, a été installé à Paris ; ce système, qui se distingue par ses chances de durée, a été appliqué, depuis, à plusieurs États de l'Europe.

Un des progrès les plus importants, émané de l'initiative de la Direction générale, est l'installation à Paris d'un système de

tubes pour la distribution des dépêches entre les différents bureaux : les dépêches sont enfermées dans des boîtes qui reçoivent leur mouvement de l'action de l'air condensé par la pression hydraulique. Il suffit d'un excès de pression de 15 à 30 centimètres de mercure sur la pression atmosphérique pour donner aux boîtes renfermées dans les tubes une vitesse de 1 kilomètre par minute. Comme l'air comprimé dans un réservoir, à l'aide de l'eau qui s'y rend par la partie inférieure, suffit pour un envoi de boîtes et pour leur faire parcourir le tube qui joint deux stations, la pression de l'air diminue pendant la durée de ce trajet; au commencement de l'opération, elle est de 27 centimètres de mercure supérieure à la pression atmosphérique, et seulement de 16 à 17 à la fin. Le tube a 7 centimètres de diamètre, et ses dimensions sont plus petites que celles des tubes qui servent à Londres pour le transport des lettres par action pneumatique. Ce système est dès à présent en service. La construction des appareils est due à MM. Mignon et Rouart, et les transformations successives qu'a subies le projet depuis la fin de 1865 sont l'œuvre collective de l'administration et de ces constructeurs. Du reste, MM. Mignon et Rouart ont apporté dans cette nouvelle application un utile concours et ont réalisé, dans l'exécution, des dispositions importantes pour le succès de l'entreprise.

Il y a lieu de mentionner encore l'organisation du service électro-sémaphorique, qui, préparée par les deux départements de l'intérieur et de la marine, permet d'échanger des correspondances entre la terre et la mer. La France est en Europe le seul pays où ce service ait été complétement organisé. Le réseau électro-sémaphorique comprend 131 stations disséminées sur les côtes de l'Empire.

Le mérite de l'adoption de tarifs uniformes et réduits pour les correspondances internationales, revient, en grande partie, à l'Administration française. C'est elle qui, après avoir appliqué à l'intérieur une taxe unique, a introduit le même progrès dans les relations de l'Empire avec les États limitrophes et l'a

fait généraliser en 1865, lors de la convention de Paris. Les avantages du nouveau système ont été si appréciés que les États qui, en Europe ou en dehors, n'avaient pas pris part à la conférence de Paris, y ont successivement adhéré.

La situation du réseau de la France, au 1er janvier 1867, peut se résumer comme il suit :

Nombre de kilomètres.....	de lignes.....	33,648
	de fils.....	112,617
Nombre des bureaux desservis par des agents.	de l'administration.	564
	des communes.....	514
	sémaphoriques.....	131
Total des bureaux de l'État.....		1,209

Des spécimens du matériel de l'Administration des télégraphes de Prusse sont exposés par la maison Siemens et Halske de Berlin. L'appareil de transmission le plus fréquemment employé est, comme en France, celui du système Morse imprimant les signaux au moyen d'une molette qui trempe dans l'encre. Celui du système Hughes, qui a été mis d'abord en service sur la ligne de Paris à Berlin est également adopté par l'Administration prussienne. Des essais assez importants de transmissions automatiques des signaux Morse ont été faits en Prusse. Une collection de types et un découpeur servant à composer les dépêches ont été envoyés à l'Exposition.

Les appareils présentés sont accompagnés d'instruments accessoires, galvanomètres, sonneries, commutateurs, généralement fixés sur les mêmes planchettes. Les dispositions de détail, mais d'un grand intérêt pratique, adoptées pour l'introduction des fils télégraphiques dans les postes, ont été bien étudiées. On remarque les échantillons des divers câbles posés sur le réseau prussien. Les isolateurs méritent également d'être signalés : ce sont des isolateurs à cloche, se distinguant de ceux employés en France par leur mode d'attache au poteau, la profondeur de la cavité qu'ils présentent et l'addition d'une double cloche. Des expériences comparatives faites récemment sur ces isolateurs ont montré qu'ils devront donner de bons

résultats. Les fils employés pour la construction des lignes sont des fils de fer de diamètres correspondant à ceux adoptés en France, c'est-à-dire de 5 millimètres, 4 millimètres et 3 millimètres de diamètre.

La carte des lignes télégraphiques de l'Europe donne une idée de l'importance du réseau prussien. Au 1er janvier 1867, il y avait en Prusse, y compris les télégraphes des États annexés :

23,100 kilomètres de lignes ;

66,000 kilomètres de fils ;

838 bureaux de l'État.

Le développement des communications télégraphiques à Berlin a déterminé l'Administration à organiser un système de transmission pneumatique. Ce système, qui nous a paru moins simple que celui adopté en France, et dans lequel la pression est donnée par l'action d'une machine à vapeur, est représenté par un dessin.

L'intérêt principal de l'Exposition de la Direction impériale des télégraphes autrichiens se porte sur ses appareils et instruments de télégraphie militaire. Engagée deux fois à peu d'intervalle dans une grande guerre, l'Autriche a étudié avec un soin particulier les arrangements relatifs à l'organisation d'un service télégraphique de campagne. La Direction impériale n'a fait construire pour ce service aucun appareil entièrement nouveau, mais elle a donné des dispositions particulièrement bien appropriées à toutes les parties du matériel destiné aux installations rapides. Elle livre aujourd'hui libéralement le résultat de ses études. Son exposition comprend des appareils portatifs et de dimensions assez réduites pour qu'un seul homme puisse en être chargé ; une voiture construite pour recevoir un poste télégraphique mobile, des spécimens de poteaux et d'isolateurs légers, des appareils de déroulement et des dessins pour servir de guide dans la construction des lignes. Ce système est complété par un télégraphe optique d'un usage commode et qui devrait être employé

entre les points où la pose d'un fil présenterait quelques difficultés.

Le réseau télégraphique autrichien, dont la carte de la section française indique l'organisation, comprenait au premier janvier :

19,640 kilomètres de lignes;

43,217 kilomètres de fils;

436 bureaux desservis par 1,070 appareils Morse et 6 appareils Hughes.

Plusieurs dispositions sont intéressantes à signaler, comme pouvant se rapporter aux accessoires et au matériel des lignes télégraphiques. M. Burgmüller (Autriche) a exposé un système d'avertissement de rue ou télégraphe destiné à la police municipale, et pouvant donner à des postes déterminés des indications sur les incendies et les accidents qui se produisent dans les divers quartiers d'une ville.

Ces appareils sont bien combinés et bien exécutés, et il serait à désirer que dans les grandes villes on pût installer des systèmes analogues, qui pourraient rendre de grands services. M. Devos (Belgique) a indiqué une disposition de commutateur qui est également intéressante. M. Léopolder (Autriche), dont on remarque les appareils bien exécutés, a exposé des paratonnerres, des indicateurs de passage de trains dans les chemins de fer, et différents autres instruments.

CONCLUSION.

En résumé, l'examen des produits qui composent la classe 64, conduit à la conclusion suivante :

1° Bien que les appareils d'électricité statique et d'induction, imaginés dans ces dernières années, donnent l'espoir de voir les appareils producteurs de cet agent augmenter de puissance, cependant l'électricité nécessaire au jeu des télégraphes est en si faible proportion que la plupart des piles aujourd'hui en usage suffisent pour les besoins du service.

2° Les télégraphes imprimeurs et autographiques se sont multipliés et perfectionnés, et il y a tendance à substituer les premiers, surtout ceux à grande vitesse, aux télégraphes en usage, et cela pour la correspondance habituelle.

3° Les fils conducteurs aériens, souterrains et sous-marins, sont bien établis, et les fabricants apportent tous leurs soins à l'isolement des fils qui sont au milieu des câbles télégraphiques.

4° Dans les administrations télégraphiques toutes les parties du service se perfectionnent et les soins que l'on donne au choix des appareils, au matériel et aux accessoires, font espérer une rapidité plus grande dans la transmission des dépêches et un abaissement dans les tarifs.

SECTION II

POSE DU CABLE TRANSATLANTIQUE

PAR M. DE VOUGY.

Les premières tentatives pour l'étude de la grande ligne transatlantique eurent lieu en 1857 et 1858. Les opérations ne furent reprises qu'en 1865, mais ces sept années d'intervalle ne furent pas perdues pour les progrès de la télégraphie sous-marine. Des tentatives malheureuses, mais instructives, furent faites dans la mer Rouge et dans le golfe Arabique. Barcelone fut reliée aux Baléares, Toulon à la Corse, Port-Vendres à Alger. Bien que ces entreprises n'aient pas obtenu un succès définitif, elles ne laissaient pas que d'éclairer vivement les problèmes que l'on étudiait. En 1861, d'ailleurs, le gouvernement anglais, pour établir nettement l'état des questions, ordonna une vaste enquête dans laquelle furent interrogés tous les électriciens, ingénieurs, fabricants, qui avaient assisté aux opérations précédentes ou qui s'étaient occupés spécialement de télégraphie sous-marine. Le rapport présenté par les membres de la commission d'enquête (1) est un des documents les plus importants de l'histoire de la télégraphie.

Le modèle de câble auquel la compagnie transatlantique s'arrêta, après cette vaste enquête, fut analogue au type que

(1) Ces membres étaient MM. Douglas, Galton, Wheatstone, W. Fairbain et Bedder, délégués par le *Board of trade*, et MM. Edwin, Clark, Varley, Latimer, Clark et Seward, délégués par la Compagnie du télégraphe transatlantique

l'Administration française avait choisi pour la ligne d'Alger à Port-Vendres. Le choix des matériaux et leur mise en œuvre furent entourés de soins particuliers qui n'avaient point été apportés aux fabrications précédentes.

Le conducteur se composait de sept fils de cuivre tordus ensemble, ayant chacun un demi-millimètre de diamètre. La qualité du cuivre employé fut soumise à un examen scrupuleux, et on rejeta tout ce qui n'avait pas une conductibilité déterminée. Sur ce conducteur furent appliquées successivement quatre couches de gutta-percha et entre chacune d'elles une couche de *Chatterton composition* (mélange de gutta-percha et de goudron de Stockholm). L'âme du câble ainsi terminée, la résistance et l'isolement en furent mesurés avec un soin jusque-là inusité. On mit à profit des méthodes nouvelles et des appareils de précision nouvellement construits. Un bourrelet de chanvre enveloppait la gutta-percha. Enfin venait l'armature extérieure formée de dix fils de fer, ces fils de fer n'étaient pas nus; ils étaient préalablement entourés d'une garniture de chanvre de Manille. Un fer spécial fut fabriqué pour la circonstance; c'était ce que les Anglais appellent un fer homogène; il offre presque la même résistance que l'acier, sans en avoir la raideur. Le câble avait en tout un diamètre de 27 millimètres; il pesait 900 grammes par mètre dans l'air et 390 dans l'eau, il pouvait supporter sans se rompre une tension de 7,800 kilogrammes. La fabrication commencée en avril 1864 était terminée à la fin de mai 1865. On avait fabriqué 4,300 kilomètres de câble pour parer à toutes les éventualités.

Il s'agissait de trouver un bâtiment pour embarquer le câble. On renonçait au transport par moitié sur deux navires, ce procédé n'ayant pas donné de bons résultats; mais où trouver un bâtiment capable de porter à lui seul dans ses flancs une masse qui pesait 4,500 tonneaux, sans compter l'approvisionnement de charbon et tout le matériel nécessaire à une pareille entreprise ? On alla chercher le *Great-Eastern* qui, après avoir fait plusieurs voyages malheureux entre l'Angleterre et les

États-Unis, reposait inutile dans la Tamise. On se hâta d'approprier le bâtiment à sa nouvelle destination. Trois grands puits étanches, en tôle, de 17 mètres de diamètre et de plus de 6 mètres de profondeur, y furent disposés pour recevoir le câble. On y embarqua 8,000 tonneaux de charbon et on choisit pour le commander un des plus habiles capitaines de la marine marchande, le capitaine Anderson. Le *Great-Eastern* partit au commencement de juillet, escorté par deux bâtiments de la marine royale, *le Terrible* et *le Sphynx*.

Le 24 juillet, 155 kilomètres de câble environ avaient été immergés lorsqu'on constata subitement une diminution sensible de l'isolement. L'ingénieur, M. Canning, se décida à relever le câble pour trouver le point défectueux. Il fallut relever 18 kilomètres ; cette opération laborieuse dura vingt-quatre heures. On trouva le câble traversé diamétralement par un morceau de fil de fer qui avait pénétré dans la gutta-percha et atteint le conducteur de cuivre. On coupa la partie défectueuse, on fit la soudure et on se remit en route. Cinq jours se passèrent sans encombre. Les inquiétudes qu'avait fait naître le premier accident commençaient à se calmer, quand, le 29 juillet, 1,300 kilomètres étant immergés, une nouvelle perte, plus sérieuse que la précédente, se déclare. On procède au relèvement, et au bout de neuf heures on trouve encore un fil de fer pointu qui traverse le câble. L'accident réparé on remet le cap sur Terre-Neuve. Le 2 août un nouveau défaut est signalé par le galvanomètre ; on commence le relèvement, mais un accident survenu à la machine oblige à stopper ; le câble soumis à une tension énorme se rompt alors et tombe au fond de l'Océan. On était à 1,100 kilomètres de Terre-Neuve, par des profondeurs de 3,700 mètres. M. Canning essaya en vain de draguer le câble au fond de l'Océan. Au dire des ingénieurs anglais, le câble fut quatre fois saisi par les grappins du *Great-Eastern;* quatre fois la corde qui tendait le grappin rompit avant d'amener le câble à la surface. Ayant épuisé toutes les cordes dont il pouvait disposer, M. Canning se résigna à rega-

gner l'Angleterre après avoir soigneusement relevé la position où gisait l'extrémité du fil et l'avoir marquée par des bouées.

Tel est le récit succinct de la catastrophe de 1865. Mais on s'était vu si près du but qu'elle n'inspira point de découragement. Les accidents qui s'étaient produits avaient une nature si spéciale qu'il semblait facile de les prévenir par une surveillance énergique. Le *Great-Eastern* avait, d'ailleurs, fait preuve d'une grande aptitude au service qu'on lui demandait. La machine de déroulement avait bien fonctionné ; seul, l'appareil de relèvement avait besoin de modifications. Dès le retour du *Great-Eastern*, les Compagnies intéressées résolurent de persévérer dans leur entreprise. Elles se décidèrent à poser un nouveau câble et à faire les tentatives nécessaires pour repêcher l'ancien, que l'on prolongerait jusqu'à Terre-Neuve, de manière à établir une double communication. Mais il fallait 15 millions. La Compagnie avait épuisé son capital ; elle ne pouvait pas l'augmenter, et la loi anglaise lui défendait également de contracter un emprunt. On tourna la difficulté en constituant une nouvelle Compagnie, qui prit le nom de *Compagnie du Télégraphe anglo-américain*. Son fonds social, de 60,000 livres sterling (divisé en 60,000 actions, auxquelles on assurait par privilége un revenu de 25 pour 100 par an), fut immédiatement souscrit.

On fit donc, sans aucun délai, les préparatifs de la nouvelle expédition, qui devait enfin être couronnée de succès. Le câble, laissé au fond de l'eau, continuait à être expérimenté par son extrémité libre à Valentia, et on constatait que son état électrique n'éprouvait aucune altération. Pour établir la double communication avec Terre-Neuve, on disposait de 2,000 kilomètres de câble ancien, et on fit fabriquer 3,500 kilomètres de câble neuf. Le nouveau modèle ne différa du précédent que par quelques détails. Il pesait 938 grammes par mètre dans l'air, et 445 grammes dans l'eau. Il pouvait supporter, sans se rompre, une tension de 9,072 kilogrammes. Il était donc sensiblement plus résistant que le précédent. Le

Great-Eastern, malgré son énorme capacité, était insuffisant pour recevoir tout le câble; la Compagnie loua une partie de l'ancien sur deux steamers, qu'elle fréta : *l'Albany* et *la Medway*. Un troisième navire, *le William-Cory*, portait le câble d'atterrissement, destiné à la côte d'Irlande. *Le Great-Eastern* fut réparé; on sait que la disposition de ses machines permettait de rendre instantanément les deux roues de l'avant indépendantes l'une de l'autre, et de l'hélice, de sorte qu'en les faisant marcher en sens contraire, le navire tournait sur lui-même comme un pivot. L'appareil de déroulement fut renforcé et disposé de façon à pouvoir, au besoin, relever le câble par l'arrière. Un appareil de relèvement par l'avant fut installé à neuf. *Le Great-Eastern*, *l'Albany* et *la Medway* furent munis de grappins, de bouées et de cordages à la confection desquels on apporta le plus grand soin. Le dragage, en effet, ne devait plus être une opération accidentelle: il entrait dans le plan de la campagne. Enfin, pour empêcher le renouvellement des accidents qui s'étaient produits en 1855, et qu'on regardait comme étant l'œuvre de la malveillance, on avait choisi minutieusement les ouvriers qui devaient travailler à bord; on leur avait donné aussi des habits de toile, boutonnant par derrière et s'ajustant par-dessus leurs vêtements ordinaires, pour qu'ils ne pussent dissimuler aucun engin dangereux. On assure même que ces précautions spéciales avaient été corroborées par les menaces les plus énergiques.

Le 13 juillet 1866, *le Great-Eastern* souda son câble au câble d'atterrissement préalablement fixé à Valentia; puis, accompagné de *l'Albany* et de *la Medway*, et escorté du navire de guerre *le Terrible*, il fit route à travers l'Océan. Il suivait un chemin parallèle à celui de l'année précédente, à 50 kilomètres dans le sud. L'opération marcha merveilleusement; la communication avec Valentia était excellente. Un journal lithographié, donnant les nouvelles d'Europe, était distribué deux fois par jour aux passagers et à l'équipage. Dans la nuit du 18 au 19, il y eut un enchevêtrement du câble dans le réser-

voir d'arrière, mais l'accident fut réparé avec sang-froid et décision. Vers le 21, on passa, avec une certaine angoisse, en regard de l'endroit où avait eu lieu l'accident de l'année précédente. La brise fraîchissait, et *le Great-Eastern* avait de violents ressauts. Mais enfin, le 27 juillet, on reconnut la terre ; le lendemain soir, le câble d'atterrissement était placé dans l'anse de Heart's-Content, et la communication se trouvait complète. Le câble était dans d'excellentes conditions de transmission. Le message du président Johnson à la reine Victoria, composé de quatre-vingt et un mots, fut transmis de Terre-Neuve à Valentia en onze minutes.

Mais *le Great-Eastern* n'avait pas achevé sa tâche. Le nouveau câble heureusement posé, il restait à retrouver et à compléter l'ancien. Après quelques jours de repos il partit pour son nouveau champ de manœuvre ; il s'y trouvait le 12 août avec *l'Albany*, *la Medway* et *le Terrible*. Pendant vingt jours, cette flottille sillonna de ses grappins le fond de la mer dans la région où se trouvait l'extrémité de l'ancien câble. Les bouées, placées en 1865, avaient disparu ; mais les observations faites permettaient de retrouver la position. Les marins les plus expérimentés regardaient comme impossible de saisir l'ancien câble par des profondeurs de 3,500 ou 4,000 mètres, et de l'amener sans encombre sur le bâtiment. On y réussit pourtant après vingt jours d'efforts et de tentatives ; ce fut un moment solennel, et qui a laissé une vive impression chez tous les témoins de cette opération, que celui où le chef électricien, embarqué sur *le Great-Eastern*, ayant amené à ses appareils l'extrémité du câble repêché au fond de l'Océan indiqua par un hourra de triomphe qu'il communiquait avec l'Irlande. On communiquait non-seulement avec Valentia, mais aussi avec Terre-Neuve, au moyen des deux câbles réunis. Il ne restait plus qu'à compléter le câble de 1865. Cette opération fut terminée le 8 septembre. Ainsi, deux fils télégraphiques, formant ensemble une longueur de plus de 7,000 kilomètres, joignaient les deux rivages de l'Atlantique.

La Compagnie, qui exploite maintenant la communication entre l'Europe et l'Amérique, doit se louer des circonstances qui l'ont amenée à établir un double conducteur sous-marin. Dès le premier mois de cette année, le câble de 1866 a été rompu par un énorme glaçon flottant qui était venu s'échouer près du banc de Terre-Neuve. Ce dégât put être réparé au bout de quelques semaines. Plus récemment, le câble de 1865 vient d'être interrompu à son tour. On estime que l'accident a eu lieu encore à une faible distance de Terre-Neuve et qu'il sera facile par conséquent d'y porter remède. Malgré ces accidents et grâce à l'existence d'une double communication la correspondance entre l'Europe et l'Amérique n'a point éprouvé d'interruption.

État actuel des communications télégraphiques du monde.

Toutes les parties du monde se trouvent aujourd'hui reliées entre elles par des communications télégraphiques, à l'exception de l'Océanie. L'Europe est mise en relation : avec l'Amérique, par le câble transatlantique; avec l'Afrique : 1° par le câble de Marsala (Italie), à Bizerte (Tunisie); 2° par le câble de Malte à Alexandrie (Égypte), avec l'Asie : 1° par les lignes turques, avec la Turquie d'Asie et la Perse; 2° par les lignes russes, avec le Caucase, la Perse, la Sibérie, la frontière chinoise (Kiachta); 3° par un câble partant de Fao et allant à Gwadel dans le Belouchistan, avec les Indes. Ce câble se relie, d'une part, au réseau indien; de l'autre, au réseau européen, par les lignes de la Turquie d'Asie, de la Perse et de la Russie.

Le réseau indien s'arrête à Rangoon, ville située à la base de la presqu'île de Malacca. La télégraphie est installée dans la Cochinchine, dans l'île de Java et dans l'Australie; mais ces réseaux locaux sont isolés du réseau général. Elle n'a encore pénétré ni en Chine, ni au Japon, et paraît se développer avec une extrême lenteur dans les diverses contrées de l'Amérique méridionale, dont plusieurs en sont encore privées. Il convient

de signaler encore les lignes qui, au Sénégal, relient les divers établissements français.

Le tableau suivant indique, pour la plupart des pays de l'Europe, l'étendue de leur réseau, le nombre de leurs bureaux et le chiffre de leur population.

	LONGUEUR		NOMBRE de	POPULATION.
	DES LIGNES.	DES FILS.	BUREAUX.	
Autriche	19.610 kil.	43,217 kil.	436	32,572,932
Bade	1,581	3.619	186	1,429,199
Bavière	3.305	9,948	329	4,774,464
Belgique	3,393	9,483	356	4,731.957
Danemark	1.919	3.849	69	2.400,000
France	32.225	110,517	1,209	38,067.094
Suède	5.643	11.202	201	4,000,000
Italie	15.064	39,702	893	24,223,390
Mecklembourg	439	675	24	651,672
Norwége	3.555	»	102	1,000.000
Pays-Bas	2.112	6,258	186	3,293,577
Portugal	3,323	5.301	108	3.693.362
Prusse	23,100 (1)	66,128 (1)	838 (1)	23,590,543
Russie	35.917	67.561	324	61,061,081
Suisse	3.532	6,586	284	2,510.494
Wurtemberg	2.020	3.232	160	1,748.328

(1) Ce chiffre comprend les lignes des pays annexés.

SECTION III

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ CONSIDÉRÉE AU POINT DE VUE DYNAMIQUE

PAR M. ED. BECQUEREL.

La découverte de la pile ne date que du commencement du siècle, et celle de l'électro-magnétisme de 1820; mais les applications de cette partie de la physique ne remontent qu'à une trentaine d'années, puisqu'en 1837, M. Steinheil construisit le premier télégraphe à aiguilles qui ait fonctionné pratiquement sur une ligne télégraphique, et que, la même année, M. Wheatstone, en Angleterre, et M. Morse, en Amérique, firent construire les appareils qu'ils avaient imaginés, et qui pouvaient conduire au même but Les applications électro-chimiques de l'électricité, la galvanoplastie, la dorure et l'argenture sont à peu près de la même époque, c'est-à-dire de 1838 à 1840. Ainsi, c'est depuis moins de trente ans que l'électricité a pu être utilisée dans les arts et dans l'industrie.

La télégraphie électrique, basée sur l'influence magnétique développée presque instantanément à distance, au moyen d'un fil parcouru par un courant électrique dans une tige de fer ou sur l'action exercée par ce fil sur une aiguille aimantée, fit penser que le même principe pouvait être utilisé dans différentes circonstances pour provoquer, à des instants déterminés, des effets dynamiques également déterminés. De là, les applications diverses à l'horlogerie, à la construction des indi-

cateurs électriques de pression, de niveau, de température, etc., etc., ainsi que celles dont on va mentionner plus loin quelques-unes, les appareils chronométriques-électriques, et ces indicateurs n'étant autres que des espèces de télégraphes pouvant fonctionner à des instants donnés.

On sait quel est l'usage fréquent des appareils électriques horaires, nommés aussi quelquefois horloges électriques; ils servent à indiquer simultanément, sur un certain nombre de cadrans, l'heure donnée par un régulateur. Quant aux indicateurs électriques, la plupart du temps on doit les considérer plutôt comme des instruments de précision à l'usage des sciences que comme des machines industrielles. A l'Exposition actuelle, il y a plusieurs appareils de ce genre, parmi lesquels on peut citer le météorographe du père Secchi.

L'électricité, dans ces diverses applications, comme dans les sonneries électriques et dans d'autres circonstances analogues, ne sert habituellement qu'à produire, à certains moments, une aimantation dans un électro-aimant, lequel agissant sur une armature, laisse agir un ressort ou un poids, c'est-à-dire qu'elle n'opère que par un déclanchement; elle ne sert, en réalité, que comme moyen de transmission dynamique, non-seulement d'une manière plus simple que par tout autre moyen, mais encore dans des cas où les procédés mécaniques ordinaires ne pourraient être employés. Il en est encore de même dans la construction des régulateurs de lumière électrique et des chronoscopes ou appareils destinés à l'évaluation des intervalles de temps très-courts, tels que ceux que mettent les projectiles à parcourir les différents points de leur trajectoire. Parmi les régulateurs de lumière électrique, on distingue ceux de M. J. Duboscq et de M. Serrin, et parmi les différents chronoscopes, on peut citer ceux de MM. Wheatstone, Navëz, Martin de Brettes, Gloesener, Schultz, F. Le Roux, etc.; ces derniers appareils doivent être considérés comme des instruments de précision.

M. Bonelli a imaginé de substituer à l'un des organes méca-

niques des métiers à la Jacquart, dans le but de soulever les crochets en relation avec les fils de la chaîne de l'étoffe à fabriquer, un organe que l'on pourrait appeler physico-mécanique, et qui produit le même résultat, au moment où un courant électrique circule dans des électro-aimants dont les armatures sont en rapport avec ces crochets. De là le nom de métier électrique donné à ce métier, quoique, à vrai dire, il n'y ait d'électrique que la partie qui vient d'être indiquée. Le système de M. Bonelli consiste alors essentiellement dans la suppression de la mise en carte du dessin de l'étoffe, à laquelle on substitue le tracé du dessin avec de l'encre sur du papier d'étain, afin que les parties de cette surface soient alternativement conductrices ou non conductrices de l'électricité. Ce métier a été perfectionné par Froment, et a reçu également, depuis, diverses modifications ; mais malgré son ingénieuse construction, nous ne pensons pas qu'il soit actuellement en usage courant.

Une des applications intéressantes de l'action magnétique de l'électricité servant à la disposition d'organes de machines, est celle faite par M. Gaiffe pour construire des machines à graver les rouleaux d'impression d'étoffes. Dans ces machines, les burins tracent la gravure sur le cylindre, ou sont éloignés de ce dernier, suivant que, par la conductibilité électrique, un courant est établi ou interrompu dans un circuit renfermant un électro-aimant. Pour atteindre ce but, un dessin est fait sur un cylindre dont la surface étant alternativement conductrice et non conductrice, permet au courant électrique de passer ou de ne pas passer par un fil qui frotte contre cette surface. Ce cylindre tourne synchroniquement avec le cylindre à graver. Il suffit alors d'un dessin fait sur la surface d'une section du premier cylindre pour reproduire la gravure sur toute la surface du rouleau, si ce dernier reçoit, au moment où la gravure s'opère, en même temps qu'un mouvement de rotation, un mouvement de translation dans le sens de la

longueur. Cette machine fonctionne bien et peut s'appliquer également à d'autres genres de gravure.

M. Achard a pu appliquer l'action magnétique de l'électricité à la grosse mécanique. Au lieu de s'en servir pour des appareils de précision comme les télégraphes, etc., il a construit des embrayeurs électro-magnétiques qui, appliqués aux wagons, ont même fonctionné comme freins pendant plusieurs mois au chemin de fer de l'Est.

On pourrait citer encore d'autres applications de ce genre auxquelles l'électricité peut se prêter, et, entre autres, les électro-trieurs de M. Chenot, ayant pour but de séparer, par l'action magnétique, les différentes parties des minerais ferrugineux. Dans toutes ces applications, on voit que l'on n'utilise, en général, que l'action magnétique, développée dans le fer par un courant électrique ; on ne compte pas avec la dépense de l'électricité à produire, c'est-à-dire que l'on ne compte pas le prix de revient de la force, et alors ces applications dynamiques diverses, si elles ne sont pas toutes en usage actuellement, peuvent le devenir, et aider puissamment au développement de l'industrie.

Mais il n'en est pas de même de l'emploi de l'électricité comme force motrice. Cette question a beaucoup préoccupé les physiciens et les mécaniciens, et dès 1834, avant même l'installation des télégraphes électriques, M. Jacobi pensa à utiliser l'énorme puissance d'attraction produite par les électro-aimants pour construire des moteurs. Depuis cette époque, on a beaucoup varié la forme des machines, on en a construit d'oscillantes et à mouvement circulaire contenu, et la comparaison entre la consommation des couples voltaïques fournissant l'électricité, c'est-à-dire entre le prix de revient de la force, et l'effet mécanique produit, a montré que, non-seulement les électro-moteurs de grandes dimensions ne donnaient, en réalité, qu'une très-faible force, à peine une fraction de cheval-vapeur, mais encore que les mieux entendues étaient à peu près toutes dans d'aussi mauvaises conditions économiques. On

trouve, en effet, que ces machines exigent, comme consommation dans les couples, autant de zinc par cheval de force et par heure que les machines à vapeur exigent de charbon pour produire la même force, et cela sans compter le prix des acides et des autres matières qui sont consommées en même temps que le zinc et en quantité chimiquement équivalentes; la dépense en zinc seule s'élèverait donc au moins de 1 fr. 50 à 3 francs par cheval et par heure, et il faudrait plus que doubler ces prix pour avoir la consommation totale de la pile.

Certains ingénieurs ont pensé à tort que les moteurs construits n'étaient pas assez perfectionnés, et ont continué à modifier leur forme; mais la solution de la question n'est pas dans cette voie, car la plupart des machines bien construites donnent à peu près le même rendement dynamique pour la même force électrique employée, et il y a à peu près équivalence entre les deux forces, ce qui prouve que les appareils construits sont des machines assez bien combinées. Toute la question réside, au contraire, dans la production de l'électricité à très-bas prix et dans la construction de piles moins coûteuses que celles qui sont connues; jusqu'ici l'on n'a rien gagné de ce côté depuis la construction des piles à courant constant. (Voir Rapport sur la classe 64 à l'Exposition actuelle, chapitre II, page 16.)

Ces résultats prouvent que, dans les conditions actuelles, et avec les sources d'électricité connues, il n'y a pas à songer à la construction des moteurs électriques de quelque puissance, c'est-à-dire que l'on ne peut avoir recours à l'emploi dynamique de l'électricité toutes les fois qu'il faut compter avec la dépense de l'électricité ; on ne peut s'en servir que pour de très-petites forces, ou dans les applications citées antérieurement, et dans lesquelles on ne regarde pas à la dépense de l'électricité nécessaire au jeu des appareils.

Si l'on ne peut songer à faire usage des moteurs électriques en raison de la dépense, on s'est occupé de la question inverse, c'est-à-dire de la production de l'électricité à l'aide des

moyens mécaniques, et les machines magnéto-électriques (comme on l'a indiqué dans le Rapport sur la classe 64, à la fin du chapitre II) permettent de reconnaître comment on a pu obtenir ce résultat. Dans ces machines, la quantité d'électricité produite dépend de la puissance mécanique mise en jeu, et ne peut dépasser une certaine limite qui est telle qu'elle soit équivalente, au plus, à la puissance mécanique employée. On a pu utiliser l'électricité produite de cette manière, soit pour l'éclairage des phares et dans des cas spéciaux, soit dans quelques circonstances pour les dépôts électro-chimiques; mais il ne faudrait pas croire qu'on pût s'en servir pour faire fonctionner les électro-moteurs, car alors on tournerait dans un cercle vicieux. En effet, ces électro-moteurs, comme on l'a dit, ne reproduisent en force mécanique qu'une quantité équivalente à une fraction de la quantité d'électricité employée, et celle-ci n'est elle-même qu'une fraction de la puissance mécanique primitive qui fait agir les appareils magnéto-électriques; les électro-moteurs, alimentés par ces sources électriques, d'origine mécanique, ne rendraient donc qu'une faible portion de la force mécanique primitive.

Ainsi, bien que l'emploi de l'électricité, pour la formation d'électro-moteurs puissants, ne soit pas industriellement applicable, l'inverse peut avoir lieu, et, dans des cas spéciaux (éclairage, galvanoplastie, etc., etc.), l'on se sert avec avantage des sources d'électricité dont l'origine est due à l'emploi de la force mécanique.

CLASSE 65

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DU GÉNIE CIVIL DES TRAVAUX PUBLICS ET DE L'ARCHITECTURE

SOMMAIRE :

Section I. — Matériaux de construction, par M. DELESSE.

Section II. — Terres cuites et poteries, par M. Elphége BAUDE.

Section III. — Matériel des travaux du génie civil et de l'architecture, par M. VIOLLET-LE-DUC.

Section IV. — Routes, ponts, navigation intérieure, fondations et opérations diverses, par M. E. BAUDE.

Section V. — Percement du Mont-Cenis, par M. Edmond HUET.

Section VI. — Percement de l'isthme de Suez, par M. E. BAUDE.

Section VII. — Alimentation en eau et assainissement des villes, par M. Edmond HUET.

Section VIII. — Utilisation des déjections des villes, par M. MILLE

Section IX. — Travaux maritimes, par M. Charles MARIN.

Section X. — Phares, par M. Léonce REYNAUD.

CLASSE 65

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DU GÉNIE CIVIL DES TRAVAUX PUBLICS ET DE L'ARCHITECTURE

SECTION I

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

PAR M. DELESSE.

Les matériaux de construction envoyés à l'Exposition Universelle de 1867 étaient extrêmement nombreux et provenaient de toutes les parties du monde; d'après les limites assignées à ce rapport, il n'est donc pas possible d'en donner une description détaillée. D'un autre côté, beaucoup d'entre ces matériaux figuraient déjà dans les Expositions antérieures de 1855 ou de 1862 et ont été étudiés d'une manière spéciale, en sorte qu'il n'est pas nécessaire d'y revenir (1). Les roches qui sont employées pour bâtir présentent d'ailleurs une uniformité qui est presque voisine de la monotonie. Le plus généralement, ce sont des calcaires, des grès, des granits, et il arrive souvent que leurs caractères restent les mêmes aux antipodes. Ajoutons que l'art de bâtir est aussi vieux que le monde, et que les monuments laissés par les anciens témoignent qu'il avait acquis un très-haut degré de perfection dès les époques les plus reculées; bien que

(1) Voir les rapports du Jury sur les Expositions Universelles de 1855 et de 1862.

cet art ait profité des conquêtes de la science moderne, ses progrès n'ont pas été aussi rapides que ceux de plusieurs industries récentes, créées pour ainsi dire de toutes pièces, car il avait réalisé depuis longtemps une grande partie des progrès auxquels il lui était possible d'atteindre. En ce qui concerne les matériaux de construction particulièrement, les découvertes ou les idées neuves sont véritablement assez rares, et c'est à elles qu'il suffira de nous attacher.

Notre rapport se divisera du reste en trois parties comprenant : 1° Les propriétés générales des matériaux de construction ; 2° les matériaux naturels ; 3° les matériaux artificiels.

CHAPITRE I.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.

§ 1. — Résistance des matériaux de construction.

La résistance des matériaux de construction est une donnée de la plus haute importance pour tous les constructeurs ; il est donc nécessaire de faire connaître les recherches dont elle a été l'objet.

Citons en première ligne celles qui sont dues à M. le capitaine Fowke, officier du génie anglais, enlevé par une mort prématurée (1). Ces recherches, qui se proposaient l'étude des bois, ont porté sur de nombreuses collections réunies par ses soins pendant les Expositions antérieures, particulièrement en 1855 et en 1862. Plus de 3,000 échantillons ont été essayés par M. Fowke. Il a déterminé d'abord leur pesanteur spécifique, puis leur résistance à la rupture et leur flexion lorsqu'ils étaient soumis à un effort transverse ; ensuite il a mesuré leur

(1) *Tables of the results of a series of experiments on the strength of British colonial and other woods made at the South Kensington Museum*, by C. Fowke. R. E.

résistance à l'écrasement en les comprimant tantôt dans le sens des fibres, tantôt perpendiculairement aux fibres ; enfin il a encore mesuré leur élasticité.

Les fortes pressions qu'il fallait exercer s'obtenaient à l'aide d'une petite presse hydraulique qui sortait des ateliers de MM. Hayward Tyler. La manœuvre en était très-facile, et elle donnait des résultats qui étaient précis et toujours bien comparables. Elle portait deux cadrans dont le premier servait à indiquer la pression supportée par la pièce de bois, tandis que le second marquait, pour chaque demi-tonne, la flexion exprimée en millièmes de pouce.

Les bois expérimentés par M. le capitaine Fowke provenaient de presque toutes les parties du monde, de Hongrie, d'Autriche, de Russie ; mais particulièrement des colonies anglaises, telles que l'Inde, la Guyane, la Trinité, la Jamaïque, l'État de Liberia, la Tasmanie et surtout l'Australie. Les résultats obtenus forment à eux seuls un volume ; ils accusent des différences très-grandes entre la densité et la résistance des bois, montrant bien l'avantage qu'il y aurait à utiliser beaucoup de ceux que fournissent les colonies. Toutes les personnes qui se sont occupées d'expériences sur la résistance des matériaux, et nous sommes du nombre, pourront apprécier facilement combien les travaux de M. le capitaine Fowke ont réclamé de temps, de soins et de persévérance. L'examen comparatif de ses tableaux témoigne d'ailleurs de l'utilité et de l'intérêt de pareilles recherches.

M. Michelot, ingénieur en chef des ponts et chaussées a fait aussi un très-grand nombre d'expériences sur la résistance à l'écrasement des pierres servant dans les constructions ; nous donnerons ici les résultats obtenus pour celles qui ont surtout été employées dans le nouvel Opéra.

NATURE ET PROVENANCE.	POIDS du mètre cube.	POIDS supporté par centimètre carré lors de l'écrasement.
Jaspe du mont Blanc, carrière de Saint-Gervais (Haute-Savoie).....	2,716 kil.	1,839 kil.
Porphyre granitoïde brun, du bois de Vauban, commune de Bazoches (Nièvre)..	2,585	1,487
Porphyre vert (Melaphyre) de Ternuay (Haute-Saône).....	2,855	1,111
Porphyre granitoïde rouge, du bois de Planoïse, commune d'Autun.....	2,585	1,080
Granit porphyroïde des bois de Saint-Martin du Puy (Nièvre).....	2,567	1,077
Granit micacé, commune de Lormes (Nièvre).....	2,694	1,077
Syénite d'un rouge corail, du haut du Them, à Servance (Haute-Saône),.....	2,654	901
Syénite, dite feuille-morte, du Menil, commune de Servance (Haute-Saône).	2,685	867
Granit porphyroïde du mont Cornu, commune de Servance (Haute-Saône).....	2,643	715
Marbre sanguin, de Sampans (Jura)	2,637	1,076
Marbre violacé, de Sampans (Jura).....	2,663	991
Pierre de Damparis, dite de Saint-Ylie, carrière de l'Abbaye, banc de fond (Jura).....	2,683	898
Pierre de Damparis, dite de Saint-Ylie, carrière du Canal, banc jaspé (Jura).	2,668	752
Échaillon (pierre dite de l'), carrière de Revon, commune de la Rivière (Isère).	2,726	852
Échaillon blanc, carrière de l'Echaillon, commune de Saint-Quentin (Isère)....	2,529	781
Échaillon (marbre jaune clair, dit roche de l'), carrière de Lignet.....	2,686	777
Échaillon rose, carrière de l'Echaillon..	2,472	605
Pierre de Damparis, dite de Saint-Ylie, carrière Rouge (Jura).....	2,553	671
Pierre de Damparis, dite de Saint-Ylie, carrière de l'Abbaye, banc blanc.....	2,583	565
Pierre d'Anstrude (Yonne).....	2,261	365
Pierre tendre, du Larrys de la Guiche, commune de Cry (Yonne).....	2,161	369
Pierre tendre, du Larrys de la Guiche, commune de Cry, bas de la carriere (Yonne).	2,171	327
Pierre de Ravières; milieu (Yonne).....	2,157	377
— haut (Yonne).....	2,124	333
— bas (Yonne).....	2,121	304
Grès bigarré de Lutzelbourg (Meurthe).	2,130	215

Tous ces matériaux de construction de l'Opéra ont été choisis avec beaucoup de soin, comme le prouve le chiffre élevé de leur résistance à l'écrasement. Dans les jaspes de Saint-Gervais, qui ont servi à faire des colonnes, elle est exceptionnelle. Dans les porphyres, elle est aussi très-grande, supérieure même à celle des granites et des syénites, ce qui tient à ce que ces dernières roches ont une structure plus grenue et plus cristalline. Certains calcaires très-compactes, comme les marbres de Sampans, de Saint-Ylie et de l'Échaillon peuvent d'ailleurs offrir une résistance qui est, non-seulement égale, mais même plus grande que celle des granites.

On peut voir combien sont variés les matériaux qui ont été employés à la construction de l'Opéra, et ceux qui ont servi à sa décoration le sont encore bien davantage. C'est que, en effet, depuis l'établissement de notre réseau de chemins de fer, les architectes de Paris ont renoncé à l'emploi exclusif du calcaire grossier qui, malgré ses avantages, est une pierre de qualité médiocre et résiste souvent mal à l'action de l'air, comme l'atteste la dégradation de plusieurs de nos monuments. Rompant avec des habitudes séculaires, ils ont cessé de prendre exclusivement leurs matériaux dans les environs de Paris; et, dès à présent, presque toutes les parties de la France sont mises à contribution. Des matériaux de choix sont surtout empruntés aux terrains jurassiques, qui les renferment en quantités inépuisables ; et Paris tire maintenant une partie de ses pierres de construction des carrières de la Champagne, de la Lorraine, de la Bourgogne, de la Franche-Comté, et même du Poitou et du Dauphiné.

§ 2. — Coloration des matériaux de construction.

Les joailliers ont souvent recours à des réactifs pour donner aux agates et à diverses pierres précieuses des couleurs plus belles que celles qu'elles présentent dans la nature. En trai-

tant de la même manière les pierres employées comme matériaux de construction, M. F. Kuhlmann constate, par de nombreuses expériences, qu'il serait possible également de faire varier leurs couleurs.

Lorsque le brai, par exemple, est chauffé avec des matières minérales, il pénètre dans leurs fissures et jusque dans leurs pores, en sorte qu'il leur donne des couleurs plus ou moins sombres. Si l'on opère à une haute température, le brai peut agir comme désoxydant; c'est particulièrement ce qui a lieu pour l'oxyde de fer, qui se rencontre si fréquemment dans les roches, dans lesquelles il passe alors à l'état d'oxyde noir, en modifiant leur couleur et leur aspect physique. Ces effets de désoxydation sont surtout faciles à reconnaître sur les marbres qui contiennent du carbonate ou de l'oxyde de fer, comme la griotte, l'onyx et le portor.

D'un autre côté M. Kuhlmann a également métamorphosé la couleur des marbres et des agates en les soumettant à des agents oxydants, tels que le nitrate de soude et le bichromate de potasse : ainsi, avec le nitrate de soude, le marbre de Sienne passe de la couleur jaune à un rose veiné de rouge.

CHAPITRE II.

MATÉRIAUX NATURELS.

Les matériaux naturels comprennent une grande variété de roches qui sont employées tantôt à la construction, tantôt à la décoration. Ces roches peuvent être siliceuses comme les grès, les meulières, ou bien silicatées, comme les granites, les porphyres, les trachytes, les serpentines, les ardoises ; le plus souvent elles sont calcaires. Nous mentionnerons seulement celles qui offrent quelque intérêt par leur nouveauté ou par des qualités exceptionnelles.

§ 1. — Pierres dures.

Les ruines des monuments de l'antiquité nous montrent la grande importance qu'avait autrefois le travail des pierres dures, et l'infériorité dans laquelle nous sommes restés sous ce rapport à l'égard des anciens. Dans ces dernières années cependant, des progrès notables ont été accomplis, et il semble que le goût se réveille en faveur des œuvres d'art qui, bravant impunément les siècles, peuvent être léguées intactes à la postérité la plus reculée. Si nous n'avons plus le travail des esclaves qui nous permette d'édifier des monuments en pierre dure comme ceux que nous ont laissés les Égyptiens, les Grecs et les Romains, le progrès de la mécanique et la facilité des voies de communication ont contribué à rendre quelque vitalité à cette industrie.

Parmi les pierres dures travaillées en France, il convient de citer les syénites, les granites et les porphyres des Vosges, le mélaphyre vert de Ternuay, les granités et les protogynes du mont Blanc. Les usines de M. Colin, à Épinal, et de M. Varel, à Servance, livrent de beaux produits. A Paris, M. Hermann obtient à l'aide de la taille au diamant noir, des objets d'art d'une grande élégance ; mais, malheureusement, leur vente se trouve entravée par leurs prix presque inaccessibles.

En Écosse et dans le comté de Cornouailles, les granites sont aussi tournés et polis avec une grande perfection ; de plus leur usage se répand à Londres. Le porphyre d'Elfdalen, en Suède, est toujours employé à fabriquer des colonnes, des vases, et divers objets d'ameublement ou d'architecture. A Weissenstadt, dans le Fichtelgebirge, on exploite une diorite porphyroïde d'une couleur verte foncée qui était représentée par deux vasques se trouvant à l'exposition de la Bavière ; mais les produits les plus remarquables sortent des fabriques impériales de la Russie. Indépendamment de ce qu'ils sont

travaillés avec soin, ils doivent surtout leur supériorité à la rareté des matières premières qui sont mises en œuvre. Signalons particulièrement divers porphyres, les jaspes de l'Oural, le rhodonite ou bisilicate de manganèse, que l'Exposition montrait en pièces d'une grandeur jusqu'alors inconnue. La marbrerie impériale de Tiflis avait également envoyé quelques objets façonnés avec une obsidienne qui paraissait pour la première fois; elle est noire-grisâtre, caractérisée par des reflets blancs et chatoyants qui, sous ce rapport, la font ressembler à certaines opales. Elle trouvera des applications dans l'ameublement et, mieux encore, dans la bijouterie.

Jaspes de Saint-Gervais. — Étudions particulièrement les jaspes de Saint-Gervais, près du mont Blanc, auxquels s'attache l'intérêt de la nouveauté et qui, par leur beauté, méritent une mention toute spéciale. Leur gisement est sur la rive droite du Bonnant, route du Fayet à Saint-Gervais, dans la Haute-Savoie; ils s'y trouvent en quantité pour ainsi dire indéfinie, et de plus en blocs de toutes les dimensions. On peut d'ailleurs les exploiter facilement et à ciel ouvert.

D'après des recherches récentes de M. Lory, ces jaspes proviennent d'un métamorphisme subi par une couche de grès appartenant à l'étage du trias. Ils paraissent reposer sur des schistes cristallins, et, au-dessus d'eux, l'on rencontre successivement un grès feldspathique (arkose), puis des dolomies. Leur état originaire était celui de grès quartzeux, plus ou moins mélangé de mica gris ou verdâtre ; ensuite ils ont été traversés par des sources minérales qui les ont imprégnés de silice et d'oxyde de fer produisant les veines de jaspe. Ultérieurement leurs retraits ont été remplis par des carbonates mixtes de chaux, de magnésie et de fer, qui forment un ciment spathique, blanc, ayant l'inconvénient de brunir et de s'altérer par l'action de l'air. Leur structure, qui est à la fois jaspée et brèchiforme, leur donne un aspect exceptionnel et très-remarquable. Ils présentent d'abord des couleurs variées d'une

manière très-capricieuse, parmi lesquelles domine habituellement le rouge de sang. Le rose, le vert, le gris s'y montrent également. Du quartz blanc y forme, soit des veines irrégulières, soit des taches panachées. La variété rouge est très-dure et prend un beau poli; c'est un jaspe composé de silice colorée par de l'oxyde de fer. Mais la variété grise contient plus spécialement des carbonates, en sorte qu'elle s'use d'une manière un peu inégale par le poli et que les parties quartzeuses y forment de légères saillies. Les taches blanches panachées sont produites par des filons quartzeux qui imprègnent intimement la roche, et, dans leur centre, il y a quelquefois de la baryte sulfatée. Des veinules de sulfures métalliques peuvent même s'observer accidentellement. La présence de carbonates et de baryte sulfatée dans les jaspes de Saint-Gervais tend à donner quelque inégalité à leur poli ainsi qu'à leur travail; et, d'un autre côté, comme leurs parties tendres sont susceptibles de s'altérer par les intempéries de l'atmosphère, il serait bon de les employer seulement pour la décoration intérieure.

Quant à leur prix de revient, il est actuellement de 1,500 francs sur la carrière et s'élève à 2,000 francs pour le mètre cube rendu à Paris. Le mètre cube en tranches ne dépasse pas 100 francs et l'on estime qu'il atteint 200 francs, c'est-à-dire qu'il double de valeur par le polissage. Toutefois, lorsque l'exploitation aura reçu les développements que l'on a projetés, ces prix subiront des réductions très-notables.

Les jaspes de Saint-Gervais étaient représentés à l'Exposition par deux colonnes magnifiques qui se trouvaient à l'entrée de la serre des plantes équatoriales. Des colonnes semblables ont été employées dans le nouvel Opéra de Paris; mais il est à regretter qu'elles soient placées sur le péristyle extérieur; car les carbonates qui les imprègnent les exposent aux dégradations de l'atmosphère. Du reste les jaspes de Saint-Gervais seraient facilement utilisés dans les ameublements, à l'état de plaques polies, de socles de pendules; ils pourraient servir à fabriquer des objets d'art. En effet aucune roche ne revêt des

couleurs plus riches et ne prend plus d'éclat sous le poli ; aucune ne convient mieux à la décoration des palais et des monuments.

§ 2. — Marbres.

Lorsqu'un calcaire est compacte et susceptible de recevoir le poli, lorsqu'il présente des couleurs vives et des dessins d'un aspect agréable, lorsque, en outre, il se laisse exploiter en dalles qui sont bien exemptes de fissures, il peut être employé comme marbre. L'on conçoit d'après cela que les marbres soient assez communs dans la nature et qu'ils se rencontrent, pour ainsi dire, dans tous les pays. Tel est, en effet, l'enseignement qui ressort de l'examen des marbres de l'Exposition Universelle de 1867. Non-seulement ils se montrent en collections très-nombreuses, mais encore ils proviennent des contrées les plus diverses et de celles dont l'exploration est la plus récente : l'Australie, le Canada, l'Amérique en offrent même qui rivalisent avec ceux de l'ancien monde. Généralement, l'on en rencontre beaucoup dans les pays de montagnes, et particulièrement dans ceux qui sont occupés par les terrains métamorphiques, gisement le plus habituel des calcaires cristallins

Toutefois, bien que les échantillons propres à figurer dans une collection soient innombrables, c'est seulement dans des circonstances exceptionnelles qu'on trouve des marbres réunissant la richesse de tons et les qualités qui les font rechercher par les constructeurs ; il est rare aussi qu'ils forment des gîtes puissants, d'une exploitation et d'un accès faciles, situés en outre à proximité de la mer ou de grandes voies de communication. Si l'on considère, par exemple, le marbre blanc statuaire, l'on reconnaît que malgré l'abondance dans la nature des calcaires blancs et saccharoïdes, le gisement de Carrare est jusqu'à présent unique et conserve, depuis les Romains, le privilége de pourvoir presque seul à la consommation du monde entier.

Il faut dire aussi que les marbres exploités par les anciens sont naturellement plus connus et, par suite, plus recherchés que les nouveaux; leur emploi dans les monuments de l'antiquité leur constituant, en quelque sorte, des titres de noblesse.

La France possède quelques marbres à couleurs vives et harmonieuses qui jouissent d'une grande notoriété et ne se retrouvent pas dans d'autres gisements. Tels sont certains marbres des Vosges, des Alpes et surtout des Pyrénées. D'autres, tels que ceux de Boulogne, de Château-Landon et du Jura, sont au contraire remarquables par leur compacité, leur résistance à l'écrasement et leurs bonnes qualités comme matériaux de construction. Ces derniers sont exploités régulièrement et sur une grande échelle, en sorte qu'ils peuvent être livrés à des prix très-bas. Quant aux marbres de luxe, ils donnent généralement lieu à une extraction intermittente, et leurs prix sont, par cela même, beaucoup plus élevés.

Le défaut d'entretien des chemins et des carrières peut même conduire à l'abandon complet des marbres les plus renommés; c'est malheureusement ce qui vient de se produire pour un marbre classique et en quelque sorte national, auquel le palais de Versailles doit une partie de sa splendeur, le marbre de Campan. Le mètre cube brut rendu à Paris dépassant 1,200 francs, la marbrerie n'a plus avantage à l'employer; aussi M. Geruzet, qui dirige le grand atelier de Bagnères-de-Bigorre a-t-il suspendu son exploitation de Campan jusqu'à ce que la construction d'un monument permette de la reprendre.

La griotte de Caunes, le grand incarnat et les marbres qui les accompagnent dans le terrain dévonien du département de l'Aude, sont, au contraire, exploités dans de bonnes conditions et avec une activité croissante, grâce à une entente des propriétaires des carrières, qui ont réuni leurs efforts, après s'être fait une concurrence ruineuse, grâce surtout aux facilités que les chemins de fer donnent actuellement pour la vente. Avant l'établissement des chemins de fer, ces marbres

étaient à peu près limités aux départements voisins; ils ne s'employaient à Paris que pour les travaux de luxe et ils y revenaient alors à 1,500 francs. Mais, à mesure que le réseau de nos chemins de fer s'est complété, leur prix a diminué successivement et a fini par se réduire à 350 francs. Il en résulte que, pour le marbre rouge incarnat, par exemple, la quantité qu'on exploite, en 1866, est cinq fois plus grande qu'en 1855; de plus ce beau marbre, qui était d'abord réservé pour les palais, les églises et les monuments, est consacré maintenant à décorer nos habitations.

L'exposition française renfermait plusieurs colonnes remarquables qui étaient destinées, pour la plupart, au nouvel Opéra; elles provenaient de Sarrancolin (Hautes-Pyrénées), de Saint-Béat (Haute-Garonne), de Félines (Hérault), de Saint-Antonin (Bouches-du-Rhône), de Pourcieux (Var), de Jeumont (Nord), et elles témoignaient de nos ressources en marbres de luxe.

En ce qui concerne le commerce des marbres en France, il est utile de mentionner quelques chiffres recueillis par l'administration des douanes. L'exportation, qui était seulement de 350,405 francs en 1855, a suivi une progression croissante et s'est élevée à 1,140,279 francs en 1866; elle a donc plus que triplé pendant les douze dernières années. Ce sont les marbres sculptés et ouvrés qui représentent, de beaucoup, la plus grande part dans cette exportation; toutefois les marbres en blocs et en tranches, fournis par nos carrières, tendent aussi à se répandre, et la valeur de ceux qui sortent de France a sextuplé pendant la même période.

Pour l'importation, la marche est également croissante, mais moins rapide que celle de l'exportation; représentée par 1,038,271 francs, en 1855, l'importation a été de 2,357,115 francs en 1866, et, par conséquent, elle a seulement augmenté d'un peu plus du double. La part des marbres bruts est de beaucoup la plus considérable; ordinairement elle est supérieure à un million de francs, et, en 1857, elle a dépassé deux millions; du reste elle est sujette à des oscillations et ne tend pas à s'ac-

croître. Le marbre blanc statuaire fourni par l'importation est coté pour une valeur qui est ordinairement supérieure à 100,000 francs et présente aussi quelques oscillations.

L'emploi des marbres de France dans les constructions tend à se propager; mais il est entravé par leurs prix qui sont souvent trop élevés. Comme la main-d'œuvre représente de beaucoup la dépense principale à laquelle ils donnent lieu, son renchérissement ne permet malheureusement pas toujours de les réduire. Ainsi, malgré les avantages qui résultent de l'amélioration des voies de communication, les prix de beaucoup de marbres des Pyrénées sont restés à peu près les mêmes qu'en 1855. Cependant, pour la plupart de nos marbres, ces prix ont pu être diminués, grâce à l'extension des chemins ruraux et des canaux, grâce à l'extension des voies ferrées et aux tarifs avantageux que plusieurs d'entre elles ont accordés. C'est surtout en cherchant à répandre nos beaux marbres de France sur les marchés étrangers qu'il deviendra possible de les exploiter sur une grande échelle et, par suite, avec moins de frais; la réduction de leurs prix aura d'ailleurs pour effet de propager leur emploi, et la vente devenant plus facile donnera, par cela même, des bénéfices plus considérables.

§ 3. — Marbres d'Algérie.

Les marbres d'Algérie ont été exploités autrefois d'une manière active par les Romains, et pourraient redevenir une source de richesse. Ils étaient bien représentés à l'Exposition, et nous mentionnerons les plus remarquables, en prenant pour guide, M. Ludovic Ville, ingénieur en chef des mines, à Alger.

Marbres onyx. — Dans la province d'Oran, à Aïn-Tekbalet, sur les bords de l'Isser, l'on trouve un marbre très-rare et d'une grande beauté; on lui a donné le nom d'onyx, à cause de sa transparence et de sa structure veinée, qui le fait ressembler à

cette variété d'agate. Il a d'abord été exploité par les Romains, plus tard par les Maures de Tlemcen, et enfin retrouvé par M. Delmonte, ancien marbrier à Oran. Ses carrières fournissent ces admirables onyx, dont rien n'égale la transparence, la douceur et la variété de tons. L'industrie parisienne les recherche pour l'ameublement et pour l'ornementation artistique, en sorte qu'ils sont, dès à présent, l'objet d'un commerce assez considérable.

Le marbre d'Aïn-Tekbalet est un dépôt récent formé par des sources plus ou moins thermales, aujourd'hui éteintes. Il se compose de couches régulières, presque horizontales, présentant chacune une nuance particulière, d'où résulte cette variété que l'on admire dans l'onyx. Le gîte de marbre a une épaisseur totale de 6 à 10 mètres, et couvre une superficie de plus de 100 hectares.

En outre l'on a signalé récemment auprès de Nedroma un marbre jaune transparent qui paraît fournir une espèce particulière d'onyx imprégné d'hydroxyde de fer. Dans ces dernières années, le marbre onyx a d'ailleurs été retrouvé et exploité hors de l'Algérie ; l'Exposition montrait, en effet, un échantillon envoyé par le gouvernement turc, qui provenait du village de Van, dans la province d'Erzeroum. On pouvait voir aussi, dans la section de la Russie, de magnifiques onyx exploités dans le Caucase, et travaillés dans la marbrerie du gouvernement, à Tiflis. Ces marbres onyx étaient remarquables par leur blancheur, par leur translucidité et montraient qu'il est possible d'en obtenir de très-belles dalles dans le Caucase.

Enfin, nous rappellerons encore que le marbre onyx se retrouve également au Mexique, et qu'il y a même été exploité.

Marbres divers. — Dans la province d'Alger, le marbre de la pointe Pescade est en couches lenticulaires composées de brèches à couleurs variées. On y a fait une tentative d'exploitation bientôt abandonnée. Il est enclavé dans les ter-

rains cristallophylliens de la Bouzareah dans les environs d'Alger.

Le marbre du Chenouah se trouve à 10 kilomètres E. de Cherchel. Par l'abondance de ses produits, la beauté de ses brèches, la proximité de la mer et les facilités qu'il présente pour l'embarquement, ce marbre paraît appelé à un bel avenir industriel. La mer est profonde au pied même du gîte, et de plus, elle est complétement abritée des vents d'ouest qui règnent si fréquemment pendant l'hiver sur les côtes de l'Algérie. L'on pouvait juger de la beauté du marbre du Chenouah, par les divers objets d'ornement qui se trouvaient à l'Exposition Universelle. Son exploitation prendrait une grande activité, si les capitaux venaient la vivifier.

Le marbre brèche des environs de Fondouk, se trouve dans deux gîtes puissants, mais d'un accès très-difficile ; c'est ce qui explique l'abandon dans lequel ils ont été laissés jusqu'à ce jour. Le marbre brèche du cap Matifoux provient d'un gîte situé sur le bord de la mer, à peu de distance d'Alger. L'exploitation a été faite autrefois par les Romains, et il serait facile de la reprendre aujourd'hui, s'il était accueilli avec faveur par l'industrie. Ce marbre appartient au terrain cristallophyllien. Il existe encore beaucoup d'autres gîtes de marbre dans la province d'Alger, mais ils sont loin des centres de consommation, et les abords en sont trop difficiles.

Dans la province de Constantine, signalons d'abord le marbre du Felfela, l'un des plus importants de l'Algérie. Il est situé près de Philippeville, sur le bord de la mer. C'est un calcaire saccharoïde qui se rapproche beaucoup du marbre de Carrare. Poli, il devient un peu translucide. Généralement d'une belle couleur blanche, il est associé à du marbre bleu turquin, bleu fleuri, noir veiné de blanc, ainsi qu'à du marbre jaune et rouge. Il a été exploité autrefois par les Romains ; du reste, il peut fournir de beaux marbres d'ornement et même des marbres statuaires. La superficie totale du gîte est de 53 hectares. Une exploitation sur une

tant de la même manière les pierres employées comme matériaux de construction, M. F. Kuhlmann constate, par de nombreuses expériences, qu'il serait possible également de faire varier leurs couleurs.

Lorsque le brai, par exemple, est chauffé avec des matières minérales, il pénètre dans leurs fissures et jusque dans leurs pores, en sorte qu'il leur donne des couleurs plus ou moins sombres. Si l'on opère à une haute température, le brai peut agir comme désoxydant; c'est particulièrement ce qui a lieu pour l'oxyde de fer, qui se rencontre si fréquemment dans les roches, dans lesquelles il passe alors à l'état d'oxyde noir, en modifiant leur couleur et leur aspect physique. Ces effets de désoxydation sont surtout faciles à reconnaître sur les marbres qui contiennent du carbonate ou de l'oxyde de fer, comme la griotte, l'onyx et le portor.

D'un autre côté M. Kuhlmann a également métamorphosé la couleur des marbres et des agates en les soumettant à des agents oxydants, tels que le nitrate de soude et le bichromate de potasse : ainsi, avec le nitrate de soude, le marbre de Sienne passe de la couleur jaune à un rose veiné de rouge.

CHAPITRE II.

MATÉRIAUX NATURELS.

Les matériaux naturels comprennent une grande variété de roches qui sont employées tantôt à la construction, tantôt à la décoration. Ces roches peuvent être siliceuses comme les grès, les meulières, ou bien silicatées, comme les granites, les porphyres, les trachytes, les serpentines, les ardoises; le plus souvent elles sont calcaires. Nous mentionnerons seulement celles qui offrent quelque intérêt par leur nouveauté ou par des qualités exceptionnelles.

§ 1. — Pierres dures.

Les ruines des monuments de l'antiquité nous montrent la grande importance qu'avait autrefois le travail des pierres dures, et l'infériorité dans laquelle nous sommes restés sous ce rapport à l'égard des anciens. Dans ces dernières années cependant, des progrès notables ont été accomplis, et il semble que le goût se réveille en faveur des œuvres d'art qui, bravant impunément les siècles, peuvent être léguées intactes à la postérité la plus reculée. Si nous n'avons plus le travail des esclaves qui nous permette d'édifier des monuments en pierre dure comme ceux que nous ont laissés les Égyptiens, les Grecs et les Romains, le progrès de la mécanique et la facilité des voies de communication ont contribué à rendre quelque vitalité à cette industrie.

Parmi les pierres dures travaillées en France, il convient de citer les syénites, les granites et les porphyres des Vosges, le mélaphyre vert de Ternuay, les granites et les protogynes du mont Blanc. Les usines de M. Colin, à Épinal, et de M. Varel, à Servance, livrent de beaux produits. A Paris, M. Hermann obtient à l'aide de la taille au diamant noir, des objets d'art d'une grande élégance ; mais, malheureusement, leur vente se trouve entravée par leurs prix presque inaccessibles.

En Écosse et dans le comté de Cornouailles, les granites sont aussi tournés et polis avec une grande perfection ; de plus leur usage se répand à Londres. Le porphyre d'Elfdalen, en Suède, est toujours employé à fabriquer des colonnes, des vases, et divers objets d'ameublement ou d'architecture. A Weissenstadt, dans le Fichtelgebirge, on exploite une diorite porphyroïde d'une couleur verte foncée qui était représentée par deux vasques se trouvant à l'exposition de la Bavière ; mais les produits les plus remarquables sortent des fabriques impériales de la Russie. Indépendamment de ce qu'ils sont

Des carrières aux gares de chemins de fer les plus voisines, la viabilité est presque partout encore dans un grand abandon. Il y a même des endroits où, faute de chemins et dans l'ignorance des services que rendrait un système de plans inclinés, de couloirs ou de glissoires, on fait rouler, du haut des cimes, des blocs entiers dans le fond des vallées. Ces blocs n'y arrivent que brisés en fragments plus ou moins volumineux, mais qui, réunis, sont bien loin d'avoir la valeur de la masse entière (1). C'est ainsi que, dans les mêmes régions, le minerai des minières élevées se descend à dos de mulets, par un singulier esprit de ménagement pour des habitudes traditionnelles ou pour des intérêts qu'une exploitation rationnelle servirait mieux. En quelques endroits seulement, par exemple aux environs de Bagnères, il y aurait une amélioration à signaler dans l'état des chemins qui conduisent aux voies ferrées. Mais on ne saurait trop attirer l'attention du public et du Gouvernement sur le préjudice que causent à l'industrie des marbres les tarifs élevés des Compagnies de chemins de fer qui n'ont pas toutes un même intérêt à effectuer certains transports et qui n'offrent pas les mêmes conditions de transit à l'expéditeur. Outre l'inconvénient de la cherté, il y a celui des difficultés de détail, des formalités, des délais sans nombre. On ne sait jamais exactement comment et à quel moment s'achèvera un transport qui s'effectue sur les chemins de certaines compagnies.

Le tarif général, avec garantie, fait payer pour les marbres, de Bagnères-de-Bigorre à Paris (842 kilomètres) 114 francs par tonne ; le tarif général, sans garantie, 83 fr. 60 c.; le tarif spécial, sans condition de tonnage, 74 fr. 05 c. ; le tarif spé-

(1) On dit, il est vrai, que les marbriers des montagnes y voient l'avantage de débarrasser les blocs des parties les moins compactes et d'y connaître d'avance les fissures de la matière que, souvent, l'on n'aperçoit qu'après le travail des marbres ; et que, quelquefois, dans les Vosges par exemple, on choisit de préférence, dût-on les aller chercher loin, les blocs erratiques de granite et de porphyre dont les croûtes sans adhérence sont déjà détachées.

cial, avec un minimum de chargement de 5,000 kilogrammes, 50 francs et quelquefois 40, pour des quantités exceptionnelles. Ce dernier prix, le plus avantageux que l'on ait dans les Pyrénées, ne laisse pas assez de liberté d'action, parce que le délai de transport est fort long; les particuliers, du reste, ne peuvent guère en profiter, car ils ont rarement à demander 5,000 kilogrammes de marbre à la fois.

Dans l'état des choses, les marbres bruts, en tranches de 0m 02 d'épaisseur, valent en moyenne 12 francs le mètre carré; le polissage coûte 3 fr. 50 c. et le transport, au tarif le plus réduit (70 kilogrammes à 83 fr. 60 c. la tonne), 5 fr. 85 c. Le mètre carré de ces marbres ordinaires revient donc, à Paris, à 21 fr. 35 c.

Si l'exploitation des mêmes qualités (ceci dépend des architectes) devenait plus importante, on pourrait obtenir le mètre carré à 8 francs; le polissage coûterait 2 francs et le transport, à 0 fr. 03 c. par tonne et par kilomètre (pour 842 kilomètres, en ramenant le tarif au chiffre de 25 fr. 26 c.), 1 fr. 75 c. seulement; soit pour le tout 11 fr. 75 c.

Que l'on compare ce prix de revient avec celui des stucs et l'on verra combien l'on a tort de ne pas employer plus habituellement les marbres. D'après les renseignements que veut bien nous communiquer M. Ch. Garnier, l'architecte du nouvel Opéra, le stuc, imitation de marbre uni, revient à 12 ou 14 francs le mètre; l'imitation de brèche à 15 ou 18 francs; l'imitation de jaspe ou de cipolin à 18 ou 20 francs. On aurait donc avantage, même pour les marbres communs, à renoncer à l'emploi du stuc. Les marbres de qualité coûteraient évidemment plus cher, mais l'élévation de leur prix n'irait pas jusqu'à faire hésiter entre une matière durable et de la poussière agglutinée (1).

La réduction de prix indiquée ici pour les marbres des Py-

(1) Il faut dire que l'emploi du marbre devient difficile et très-coûteux quand il y a des saillies, des moulures. Il n'est avantageux que pour les

rénées n'a rien qui puisse surprendre. Déjà, dans le département de la Sarthe, où les marbres du terrain carbonifère et dévonien sont exploités en grand, le marbre de Joué-en-Charny ne coûte, pris à la carrière, que 75 francs le mètre cube ; le marbre de Louverné que 100 francs, et le Sarrancolin de l'Ouest, exploité à Grez-en-Bouère, que 140 francs, ce qui fait ressortir à 2 fr. 80 c. la tranche de $0^{m}02$, matière brute avant sciage. Le sciage n'y coûte, par mètre carré, que 2 fr. 50 c. pour les deux premiers marbres et le polissage que 2 francs, même pour des variétés assez dures. Il est donc certain que l'on pourrait, dans les Pyrénées, où les chutes d'eau utilisables comme force motrice sont si nombreuses, arriver à des prix de revient encore inférieurs si l'exploitation prenait un grand développement.

Les marbres qui peuvent être exploités avec avantage dans les Pyrénées sont très-nombreux, très-variés et pour ainsi dire en masses inépuisables. Les marbres de couleur y offrent de quoi satisfaire tous les goûts. Le marbre blanc y est aussi abondant du moins pour les qualités qui servent à la décoration ordinaire, car le marbre statuaire y est rare. On n'a guère parlé jusqu'ici que de celui de Saint-Béat qui, dans quelques parties de la carrière, est statuaire ; mais, depuis peu, il s'exploite aux environs de Bagnères une carrière toute nouvelle dont la qualité ne laisse rien à désirer, qui peut être travaillée très-aisément. Quoique la main-d'œuvre devienne de plus en plus chère, l'emploi des moyens mécaniques permettra, sans diminuer les salaires et, au contraire, en donnant plus de travail aux ouvriers, de produire avec économie d'aussi grandes quantités de marbre que l'on pourra le demander ; mais il faut que, à Paris et dans les grandes villes, les architectes, à l'exemple de M. Charles Garnier et de quelques-uns de ses confrères, imposent et répandent le goût d'une matière belle et durable

surfaces planes. Ajoutons que des stucs, bien préparés, ont maintes fois bravé l'injure des temps, mais le stuc bien préparé est toujours rare.

comme les marbres, en renonçant à l'usage du stuc, et que, d'autre part, les compagnies de chemins de fer abaissent et uniformisent leurs tarifs de transport (1) :

La demande faite par les villes ne produirait son effet qu'autant que les administrations municipales ne feraient payer aux marbres, à leur entrée dans la consommation, qu'une taxe modérée d'octroi. Il y a lieu, pour nos marbriers des Pyrénées, de considérer comme une des causes qui arrêtent le développement de leur industrie les droits excessifs dont ces produits sont frappés à Bordeaux, à Angoulême, à Nantes, à Tours, à Toulouse, à Lyon et à Paris.

Quant aux chemins de fer, un fait vraiment regrettable, c'est que, tandis que de Marseille à Paris (828 kilomètres) les marbres payent seulement 30 francs la tonne, ou 0 fr. 036 par tonne et par kilomètre, le prix le plus bas qui ait pu être obtenu de Bagnères à Paris, pour des quantités exceptionnelles, soit de 40 francs, 0 fr. 05 c. La différence est de 0 fr. 017 par tonne et par kilomètre, ou de 25 pour 100 à l'avantage des produits étrangers. Il y a là, évidemment, des améliorations à demander, dans l'intérêt de tous, à l'administration et aux compagnies elles-mêmes.

En définitive, il n'y a qu'à le vouloir pour qu'en peu de temps la France produise et consomme une grande quantité de beaux marbres. Les arts et l'industrie sont également intéressés à ce

(1) Voici les prix courants, en 1867, à Paris, des marbres les plus employés dans le commerce :

Sarancolin des Pyrénées	le mètre cube	1,012	francs.
Campan mélangé et Campan vert	—	1,232	—
Rosé clair	—	792	—
Griotte d'Italie	—	1,012	—
Griotte œil de perdrix	—	1,117	—
Languedoc	—	792	—
Brèche impériale	—	682	—
Vert de Maurin (serpentine)	—	1,122	—
Brocatelle jaune, violette ou jaune fleurie	—	847	—
Sarrancolin de l'Ouest	—	572	—
Henriette	—	627	—
Noir français	—	374	—

que cette production et cette consommation s'établissent et se développent. C'est aux architectes, nous le répétons, à faire sous ce rapport l'éducation du public. Une fois qu'on aura pris l'habitude d'employer les marbres partout où l'on emploie le stuc, les exploitations, par l'augmentation du travail et par un plus habile ou plus fréquent usage des procédés mécaniques, les produiront à bien meilleur compte. Mais que, dès à présent, les chemins ruraux et vicinaux soient améliorés et que les compagnies de chemins de fer s'entendent pour abaisser et régulariser leurs prix de transport.

CHAPITRE III.

MATÉRIAUX ARTIFICIELS.

Les matériaux artificiels étaient représentés à l'Exposition par des chaux, des ciments, des plâtres et leurs dérivés, des produits divers, des pierres fabriquées, soit par voie sèche, soit par voie humide ; il y avait aussi des bitumes et des composés bitumineux.

§ 1. — Ciment Portland.

La grande importance prise par le ciment Portland est un fait qui mérite l'attention de tous les constructeurs. D'Angleterre, où il a été inventé, et pendant longtemps gardé secret, l'usage de ce ciment s'est répandu sur le continent, grâce surtout aux chemins de fer et aux ingénieurs qui les ont construits. Dès maintenant, l'Angleterre n'en a plus le monopole ; et de vastes usines le fabriquent en grande quantité et avec toute la perfection possible, en France, en Prusse, dans le Mecklembourg, dans le Wurtemberg, en Allemagne, dans le Tyrol, en Autriche, en Pologne, en Russie et dans l'Amérique du Nord.

Le procédé suivi, sauf quelques variantes, reste à peu près

le même partout ; il consiste à mélanger intimement de l'argile avec un carbonate de chaux très-divisé, tel que la craie. Dans d'autres circonstances, c'est une marne argileuse avec un calcaire marneux ; quelquefois aussi l'on exploite simplement un calcaire marneux naturel. On veille en tout cas à ce que la chaux se trouve dans les proportions qui sont indiquées par Vicat pour la chaux limite ; autant que possible, il convient d'ailleurs d'éviter le sable dans l'argile ou dans le carbonate. Enfin, la cuisson se fait à une température très-élevée, de manière que le ciment s'agglutine et arrive à la limite de la vitrification. Les différences que présentent les ciments Portland doivent être attribuées à leur mode de cuisson et de mouture, mais surtout à la perfection de leur mélange et à l'inégalité de leur composition chimique, qui, pour l'argile en particulier, varie beaucoup d'un gisement à un autre.

Parmi les usines nouvellement établies en France, mentionnons celles de MM. Lobereau et Meurgey, à Tenay (Aisne) et à Pouilly-en-Auxois. La méthode employée consiste à broyer ensemble deux calcaires argileux du lias, celui du lias moyen donnant le ciment bien connu de Pouilly et contenant 43,5 pour 100 de chaux avec le calcaire à bélemnites qui est moins argileux que le précédent et renferme 48 pour 100 de chaux. Le mélange doit être bien intime et, en outre, présenter la composition voulue pour le Portland (1).

(1) Pour réaliser ces conditions qui sont si importantes, les deux calcaires sont d'abord chargés dans des fours séparés dans lesquels ils subissent un grillage ou une cuisson suffisante pour en chasser l'eau et une partie de l'acide carbonique. Puis ils sont jetés en proportion convenable dans une trémie commune de laquelle ils tombent sous des meules horizontales. La poudre obtenue est alors envoyée dans des cylindres en toile métallique qui la tamisent et la mélangent ; ensuite elle est versée avec de l'eau dans un broyeur qui la convertit en pâte de la consistance d'un mortier ordinaire. Le grillage auquel les calcaires ont été soumis détermine une combinaison de la chaux avec l'eau et les silicates qui accélère la dessiccation de cette pâte et évite la perte de temps ainsi que les graves inconvénients d'un séchage spécial. Des briquettes de 10 centimètres de côté sont d'ailleurs façonnées avec la pâte et chargées dans des fours où elles sont soumises à une température assez élevée pour être amenées à une demi-fusion. En poids 1 de Portland exige au plus 7 de coke ou d'anthracite.

Voici d'ailleurs le résultat donné par l'analyse de ce ciment Portland artificiel :

Chaux.	Silice.	Alumine.	Oxyde de fer.
62,0	23,0	8,5	5,5

Sulfate de chaux.	Eau et acide carbonique.	Somme.
traces.	1,0	100

La composition du Portland de Pouilly est à peu près celle du Portland qui est fabriqué par M. White, en mélangeant la craie blanche avec de la vase argileuse de la Medway (1).

A l'usine de Boulogne-sur-Mer, créée par MM. Dupont et Demarle, le ciment Portland se fabrique au moyen de calcaires argileux. Or, l'expérience a montré que pour produire à Boulogne du ciment, réunissant bien toutes les qualités distinctives du Portland, il faut un mélange formé de 79 1/2 de carbonate de chaux avec 20 1/2 pour 100 d'argile. En deçà et au delà, dans les limites de 81 à 78 de carbonate de chaux, et de 19 à 22 pour 100 d'argile, on obtient encore un ciment présentant les apparences du Portland, mais sa qualité reste plus ou moins inférieure.

Comme les calcaires argileux de Boulogne sont sujets à quelques variations, il est assez difficile d'arriver, dans une fabrication sur une grande échelle, à ce que les proportions de 79 1/2 pour 20 1/2 soient bien conservées. Pour y parvenir, on a d'abord soin de surveiller l'exploitation des calcaires marneux et de les trier ; on les analyse fréquemment, et on les mélange en quantités convenables ; de plus, à l'aide d'appareils mécaniques, on cherche à obtenir des pâtes qui soient homogènes et conservent bien la composition voulue. En outre, M. C. Demarle a apporté un perfectionnement, utile à mentionner, qui permet d'atteindre cette condition si capitale dans la fabrication du ciment Portland.

Comme à l'ordinaire, les matières sont d'abord préparées au

(1) Rapport sur l'Exposition Universelle de 1862.

moyen de meules et mélangées dans les proportions voulues ; elles vont ensuite se déposer dans des bassins. Mais, à Boulogne, elles ne sont pas cuites dans les fours immédiatement après cette seule opération ; car leur composition n'est pas parfaitement uniforme, et des départs se produisent dans leur masse, suivant des lits horizontaux. On fait arriver dans des bassins collecteurs et de dosage les matières déjà mélangées une première fois, et elles le sont une seconde fois à l'aide d'un appareil formé de bras entrecroisés. Comme ces bassins sont de petite dimension, on peut obtenir, à l'aide des agitateurs, que leur contenu soit bien homogène : on détermine ensuite par l'analyse ses proportions de chaux et d'argile. Dans le cas où l'argile fait défaut, par exemple, on prélève dans un composé qui la renferme en excès, la quantité qui est nécessaire pour que, après un nouveau mélange intime, tout le bassin présente bien la composition voulue.

En un mot, dans la fabrication habituelle, la pâte du ciment est considérée comme finie lorsqu'elle s'est déposée dans des réservoirs généralement de grande dimension, dans lesquels le dosage est difficile, et la composition encore assez inégale ; tandis que dans la fabrication perfectionnée de Boulogne, de laquelle nous venons de parler, cette pâte subit un traitement supplémentaire dans des bassins particuliers où elle peut être malaxée de la manière la plus intime, et où il est toujours facile de contrôler sa composition par le dosage. En procédant de cette manière, et en titrant avec soin la pâte dont la cuisson donne le ciment Portland, il devient possible de lui conserver une qualité supérieure et toujours égale.

Quelques analyses bien complètes du ciment Portland ayant été faites récemment par M. le docteur Zuirek, de Berlin, il nous paraît utile d'en donner ici les résultats. Les échantillons étaient attaqués par un acide ; les trois premiers provenaient des principales usines de l'Angleterre, et avaient été livrés par le commerce ; le quatrième sortait de la fabrique des frères Meukow, à Schwérin.

	Robins.		White frères.		Knight, Bevans et Sturge.		Meukow à Schwérin.	
Silice	22,74		22,59		22,30		24,01	X
Alumine	7,74		6,43		3,31		5,73	
Oxyde de fer	3,70		4,03		9,75		2,39	
Chaux	56,68	92,08	57,87	92,56	58,17	95,02	63,77	97,68 A
Magnésie	0,57		0,55		0,91		0,96	
Potasse	0,46		0,74		0,41		0,49	
Soude	0,19		0,33		0,17		0,33	
Sulfate de chaux	1,66		2,67		1,17		0,21	
Carbonate de chaux.	3,50	7,59	0,84	6,51	1,34	5,02	0,67	2,11 B
Résidu inattaquable.	0,50		0,77		1,06		0,93	
Eau hygrométrique.	1,90		2,23		1,47		0,27	

Dans ces analyses du ciment Portland, on retrouve bien les mêmes substances; mais leurs proportions sont en définitive assez variables, ce qui explique les différences notables qu'il présente dans sa qualité. La première partie des analyses comprend les substances qui forment des combinaisons hydrauliques lorsque le ciment est traité par l'eau; la seconde partie donne celles qui sont inertes ou du moins peu efficaces. Autant que possible, il faut tendre à diminuer dans le ciment le carbonate de chaux, le résidu inattaquable par l'acide, l'eau hygrométrique, et l'on y parvient par les soins apportés à l'ensemble de la fabrication. Pour diminuer le résidu inattaquable, il faut veiller à ce que la pâte présente un mélange bien intime et bien homogène, à ce qu'elle ne contienne pas de sable grossier, et à ce que la cuisson ait lieu à une température très-élevée. Pour diminuer le carbonate de chaux et l'eau hygrométrique, il faut empêcher l'absorption de l'acide carbonique et de l'humidité de l'air, après que le ciment est réduit en poudre. Quant au sulfate de chaux, il ne peut être complétement évité, puisqu'il provient à la fois de la pâte du ciment et du combustible employé pour la cuisson. Du reste, il se solidifie en s'hydratant et contribue aussi à la prise du ciment. En tout cas, il faut chercher, soit par la fabrication, soit par le

choix des matériaux, à réduire dans le ciment Portland les substances qui ne donnent pas de combinaisons hydrauliques.

Considérons maintenant les substances qui donnent, au contraire, des combinaisons hydrauliques : ce sont la silice, l'alumine, la chaux, les alcalis, la magnésie et l'oxyde de fer. Comme l'a montré M. Rivot, elles tendent à former des hydrosilicates analogues aux zéolithes ; mais la qualité du ciment obtenu devra nécessairement varier avec leurs proportions. Toutes choses égales, l'hydraulicité sera très-sensiblement modifiée par la nature de bases qui se trouvent cependant en petite quantité ; et, tandis que des bases fortes, comme les alcalis, tendront à l'augmenter, des bases faibles, comme l'oxyde de fer, auront pour effet de la diminuer.

En résumé, la qualité d'un ciment Portland dépend essentiellement de sa composition. Comme les calcaires et les argiles qui servent à l'obtenir sont de leur nature assez variables dans des gisements différents et aussi dans le même gisement, l'analyse chimique fournit d'ailleurs un contrôle et un guide précieux pour cette fabrication ; seule elle permet de lui donner la régularité qu'elle réclame avant tout, et qui est pour elle la condition indispensable du succès.

§ 2. — Ciment Vicat.

Un ancien élève de l'Ecole polytechnique, M. Joseph Vicat, le fils de l'ingénieur célèbre auquel on doit tant de découvertes importantes sur les produits hydrauliques, fabrique sur une grande échelle un ciment auquel il a donné le nom de son père, qui en est l'inventeur.

Dans tous les systèmes suivis jusqu'ici pour obtenir du ciment, après avoir fait le mélange des matières et après avoir divisé la pâte qui en résulte, en forme de pains, il est toujours difficile de donner à ces pains une cohésion qui leur permette de supporter les manipulations nécessaires au transport et à l'enfournement. Si on les étale sur une aire découverte pour

les amener à dessiccation, il suffit d'une pluie imprévue pour les réduire en boue et perdre ainsi le résultat d'un travail long et coûteux ; si, au contraire, on expose les pains sous des hangars couverts, la dessiccation marche lentement et a le grand inconvénient d'exiger bientôt des bâtiments considérables. On peut obtenir, il est vrai, une dessiccation plus rapide à l'aide de la chaleur et au moyen d'étuves, mais il en résulte de nombreuses manipulations et, par suite, de nouveaux frais. Une seconde difficulté se présente quand il s'agit, pour les ciments artificiels, par exemple, de les cuire fortement pour obtenir une prise lente ; car, pour arriver à la fusion pâteuse nécessaire au ciment Portland, il faut une température très-élevée et une grande dépense de combustible. L'expérience a montré de plus que le ciment Portland, particulièrement celui de l'Angleterre, demandait à ne pas être employé fraîchement, car il peut se fendiller et donner lieu à de graves avaries. M. J. Vicat pense que ce résultat doit alors être attribué à ce que la cuisson et la fusion n'ont pas été suffisantes; en sorte qu'il devient nécessaire d'exposer pendant un temps assez long, dans des silos ou bien sous des hangars, le ciment moulu, de manière à éteindre par l'air humide les parties qui fuseraient par un emploi immédiat.

Pour obvier aux divers inconvénients qui viennent d'être signalés, M. Vicat n'emploie pas un mélange de carbonate de chaux et d'argile, mais il suit le procédé indiqué d'abord par son père pour la fabrication de la chaux hydraulique artificielle dite à double cuisson. Ce procédé, mis en pratique déjà dans plusieurs usines, consiste à former une pâte avec de l'argile et de la chaux grasse éteinte, en poudre. Alors les pains, étant composés de matières ayant déjà subi une première cuisson font prise, sur le chantier, en très-peu de temps, et durcissent très-vite, de manière à ne craindre ni la pluie ni aucune espèce d'intempérie ; de plus, les grands hangars couverts, les étuves, les séchoirs artificiels deviennent complétement inutiles ; enfin, la fabrication marche

aussi facilement en hiver que pendant la belle saison, grâce à la rapidité de la prise des pains. Mais il y a surtout cet avantage que, en faisant réagir directement la chaux caustique sur la silice et l'alumine, la combinaison est plus intime qu'avec le carbonate de chaux, et, toutes choses égales, l'argile est attaquée plus complétement.

En suivant cette marche, on évite donc les deux inconvénients qui tendent à entraver la fabrication des ciments artificiels et en particulier celle du Portland; d'abord on n'a pas à se préoccuper de la longueur et des difficultés que présente la dessiccation des pains; d'un autre côté, bien qu'il soit toujours avantageux d'avoir des silos pour augmenter l'homogénéité du ciment, il n'est plus nécessaire de le conserver longtemps; on peut même l'employer immédiatement.

Le ciment Vicat, fabriqué à Grenoble d'après le procédé qui vient d'être décrit, se distingue d'abord par une homogénéité parfaite; ses éléments se sont entièrement combinés, et son argile s'est transformée en un silicate, qui est complétement attaquable par l'acide faible, et qui ne laisse aucun résidu. Sa prise est lente et ne commence que plusieurs heures après le gâchage. Le poids de ce ciment pulvérisé et non tassé varie de 1,300 à 1,400 kilogrammes au mètre cube; par suite, il est considérable, ce qui est d'ailleurs une qualité. Sa contraction par le gâchage dépend en partie du degré de finesse de sa mouture; elle est en moyenne le cinquième du volume du ciment employé.

Depuis quelques années, le ciment Vicat s'est beaucoup répandu; on l'utilise pour daller des églises, des gares de chemin de fer, pour faire des trottoirs, des cuves à vin, des réservoirs, et surtout pour la construction de ponts et d'autres grands ouvrages d'art.

L'Exposition montrait quelques applications intéressantes du ciment Vicat. Nous citerons des cubes bien résistants qui étaient composés en volumes de 0,1 de ciment pour 0,9 de gravier. Mentionnons aussi des mosaïques obtenues en prépa-

rant un béton dans lequel on introduit des fragments de marbres; on le moule en dallages ou bien en carreaux présentant différentes formes, et, au bout d'un mois, il est devenu assez dur pour qu'on puisse le scier et lui donner le poli. Des tables, des colonnes, ayant la structure de brèches et de poudingues naturels, avaient été fabriquées de la même manière. Ces mosaïques en ciment produisent un assez bel effet, sont plus dures et absorbent moins l'eau que les mosaïques vénitiennes que l'on moule sur place en incorporant des fragments de marbre dans une pâte composée de chaux et de brique pilée. Elles ont d'ailleurs sur les stucs le grand avantage de résister beaucoup mieux à l'usure et de pouvoir s'employer à l'extérieur.

§ 3. — Chaux hydrauliques.

Les chaux hydrauliques étaient fort nombreuses à l'Exposition; quelques-unes nouvelles, la plupart provenant de gîtes depuis longtemps connus. Il ne serait pas possible de les décrire sans dépasser les bornes de ce rapport, et nous nous contenterons de signaler spécialement la plus importante de toutes, celles du Theil, dans l'Ardèche.

Chaux du Theil. — Les calcaires qui la fournissent contiennent de nombreux fossiles, et particulièrement des criocères, montrant qu'ils appartiennent aux marnes néocomiennes inférieures; ils se développent sur une grande étendue et s'exploitent, non-seulement dans l'Ardèche, mais encore dans la Drôme et à l'est du cours du Rhône; au Theil, leur épaisseur atteint 100 mètres. Par la cuisson, ils se convertissent en une chaux renfermant près d'un cinquième de son poids de silice attaquable par les acides, silice à laquelle elle doit sa vertu éminemment hydraulique. Son prix est de 15 francs la tonne. Blutée, elle pèse 700 kilogrammes le mètre cube. Des essais ont fait voir qu'un mortier formé de 300 kilogrammes de chaux avec 1 mètre cube de sable donnait par centimètre carré une résistance à l'arrachement de 1 kil. 54 au bout de quarante-cinq jours et de 8 kil. 63 au bout de deux ans. De même on a con-

stati que la résistance à l'écrasement atteint 9 kil. 81 après quarante-cinq jours d'immersion et près de 40 kilogrammes après une année. Ces résistances sont du reste bien inférieures à celles qu'on obtient avec un bon ciment comme le Portland.

L'usine de Lafarge, la principale de celles dans lesquelles on fabrique la chaux du Theil, atteint des proportions extraordinaires et couvre une surface de 6 hectares; elle possède trente-quatre fours à feu continu et elle produit par jour 340 tonnes de chaux blutée; de plus, sa position sur les bords du Rhône lui permet d'expédier au loin une chaux hydraulique de très-bonne qualité.

La chaux du Theil est surtout extrêmement précieuse parce qu'elle possède la propriété exceptionnelle de résister à l'action décomposante des sels contenus dans l'eau de la mer; les expériences faites, soit dans la Méditerranée, soit dans l'Océan, ont toujours donné les résultats les plus satisfaisants. On peut aussi la gâcher indifféremment avec de l'eau douce ou bien avec de l'eau salée. L'expérience a montré que si l'on veut composer un mortier devant simplement rester à l'air, il suffit de 250 kilogrammes de chaux du Theil par mètre cube de sable; si le mortier baigne dans l'eau douce, la dose de cette chaux doit être portée à 300 kilogrammes; et, enfin, dans l'eau de mer, on l'élève à 350 kilogrammes. Lorsqu'on emploie du ciment Portland pour les mêmes usages, il en faut un poids beaucoup plus considérable et qui dépasse même 600 kilogrammes. La dépense est donc plus grande.

Lorsque les bétons de chaux du Theil sont destinés à la mer, on les compose de trois volumes de pierres et de deux volumes de mortier formé comme on vient de le dire.

Il peut paraître remarquable qu'une simple chaux comme celle du Theil résiste aussi bien à l'eau de mer; on sait en effet que cette eau tend surtout à désagréger les mortiers qu'elle baigne en transformant leur chaux en sulfate; de sorte que, toutes choses égales, il semblerait assez naturel de réduire autant que possible la proportion de chaux. C'est pourquoi

Vicat a conseillé, pour les constructions à la mer, des ciments composés avec des pâtes très-chargées d'argile et, par conséquent, des ciments pauvres en chaux et riches en alumine ainsi qu'en silice. Des mortiers à base de magnésie et fabriqués par la cuisson de carbonate de magnésie pur, seraient même préférables; mais les gisements de carbonate de magnésie sont rares et, jusqu'à présent, l'industrie ne s'est pas assez préoccupée du parti qu'il était possible d'en tirer.

Quant à la vertu exceptionnelle que possède la chaux du Theil de résister à l'eau de la mer, elle doit être attribuée à ce que cette chaux est intimement mélangée de silice attaquable, avec laquelle elle se combine, et qui se trouve dans la proportion voulue pour former un hydrosilicate de chaux bien stable.

§ 4. — Béton aggloméré.

A l'Exposition de 1867, l'industrie du béton aggloméré était bien complétement représentée par M. F. Coignet. Comme nous avons déjà fait connaître cette industrie dans notre Rapport de 1862, sur l'Exposition de Londres, il suffira de signaler les perfectionnements qu'elle a reçus et les principaux travaux exécutés dans ces derniers temps.

M. F. Coignet fabrique le béton aggloméré en mélangeant d'une manière très-intime de la chaux avec du sable ou avec du gravier. Dans certaines circonstances, on ajoute d'ailleurs un peu de ciment à la chaux. Le tout est ensuite tassé dans des moules en planches auxquels on a donné la forme voulue. Il importe de bien veiller à ce que la quantité d'eau introduite soit aussi faible que possible, c'est-à-dire réduite à celle qui est nécessaire pour lubréfier le béton et pour l'amener à l'état grenu. Comme ce béton est pilonné par couches successives, on conçoit, en effet, que pour cimenter les couches entre elles, il faut éviter tout excès d'eau qui, étant incompressible et remplissant les interstices, empêcherait le tassement et la pénétration mutuelle des matières. D'un autre côté, le temps

assez long réclamé par l'opération du pilonnage exige que le ciment duquel on se sert soit à prise lente.

Quelques perfectionnements ont été apportés par M. F. Coignet dans la construction des appareils broyeurs et malaxeurs qui sont destinés à préparer le béton et à le rendre bien homogène. De même que pour le mortier ordinaire, il est obligatoire de se servir de sable de rivière, et l'expérience a montré que les sables fins exploités aux environs de Paris dans les étages de Beauchamp ou de Fontainebleau ne donnent jamais des résultats satisfaisants. Il faut aussi veiller à la qualité de la chaux et éviter les incuits qui donnent lieu à des exfoliations. L'introduction de la brique pilée et même celle de la pouzzolane dans le béton aggloméré ne sont pas à recommander, parce que ces matériaux le rendent plus poreux et plus hygrométrique. Le sable de mer et tout sable imprégné de la plus minime partie de sel doit à plus forte raison être exclu.

Mais la partie délicate de l'emploi du béton aggloméré tient toujours à la difficulté de bien cimenter entre elles les couches successives et superposées qui le composent. Dans le béton ordinaire, qui est fabriqué avec excès d'eau, on y arrive assez facilement; tandis que dans le béton aggloméré, dans lequel il y a au contraire très-peu d'eau, la surface supérieure de la couche ne tarde pas à se lisser et elle fait souvent prise avant d'être recouverte par une couche nouvelle. C'est même ce qui a lieu chaque fois que le travail se trouve interrompu. Aussi est-il nécessaire de râcler fréquemment à vif la surface supérieure, de l'arroser avec un lait de chaux, de procéder par couches minces et de ne confier cette partie du travail qu'à des ouvriers bien expérimentés et surtout très-consciencieux. A défaut de ces précautions, il peut arriver que le béton aggloméré se délite en feuillets parallèles; d'un autre côté, lorsqu'on les observe, ce béton devient d'autant plus dur que le pilonnage a été fait avec plus de soin.

Il convient d'ailleurs de remarquer que l'expression de

béton aggloméré, appliquée à l'industrie de M. Coignet, est assez impropre, puisqu'en réalité l'on fabrique un mortier plus ou moins maigre, que l'on comprime ensuite dans des moules à la manière du pisé. Examinons maintenant quelques applications du béton aggloméré.

Bien qu'il soit possible de mouler de toutes pièces des maisons et même des édifices lorsqu'on les construit en béton aggloméré, cette application ne s'est pas répandue jusqu'à présent. Il faut peut-être l'attribuer à ce que ces maisons, assez différentes de celles auxquelles nous sommes habitués, n'ont pas une couleur et un aspect très-agréables. D'après l'expérience faite à l'église du Vésinet, il semblerait de plus, que le béton aggloméré n'est pas aussi imperméable à l'humidité qu'on serait porté à le croire. Le grain grossier et la couleur du béton aggloméré ne permettent pas non plus de l'employer avantageusement à la reproduction des bas-reliefs et des statues.

Parmi les applications importantes du béton aggloméré, nous citerons d'abord un pont construit à Vitry-en-Perthois. Ce pont présente deux arches ayant 16^{m}75 d'ouverture et 1^{m}30 de flèche. Les calculs de M. l'ingénieur Frossard ont montré qu'il résiste à une pression s'élevant, sur certains points, à 50 kilogrammes par centimètre carré. Son prix de revient est de 35 francs par mètre cube, mais c'est un minimum accepté seulement dans un premier essai; du reste, ce prix est à peu près le même que si ce pont eût été fait avec des poutres droites en fer et avec des voûtes en briques.

A l'Exposition Universelle, le béton aggloméré a donné de bons résultats pour le revêtement des pièces d'eau et des réservoirs, pour les bordures de trottoirs, pour les massifs de fondations dans la galerie des machines. Cependant, pour ces derniers massifs, il y avait avantage à le remplacer par un mortier contenant 340 kilogrammes de ciment de Portland par mètre cube; car le prix de ce mortier n'est que de 26 francs,

tandis que, dans les mêmes conditions, celui du béton aggloméré est de 38 francs.

On s'est encore servi du béton aggloméré pour la construction de voûtes ; mais alors, en y comprenant le cintrage, son prix s'élève à 50 francs le mètre cube, et, lorsqu'il s'agit de piliers, il atteint même 60 francs.

Les ingénieurs du service municipal ont surtout employé le béton aggloméré sur une très-grande échelle pour la construction des égouts de Paris. D'après M. l'inspecteur général Belgrand, le béton aggloméré avec lequel ces égouts sont construits présente la composition suivante :

Ciment Portland.....	250 kilogrammes.
Chaux hydraulique éteinte.....	1 mètre cube.
Sable de rivière.....	5 —

Au bout d'un mois, le béton aggloméré prend la dureté d'une maçonnerie de meulière à mortier de ciment et paraît devoir durer aussi longtemps. Il est bien vrai que cette maçonnerie revient seulement à 35 francs le mètre cube, tandis que le béton aggloméré coûte, au contraire, 40 francs; mais, comme, d'un autre côté, l'emploi du béton aggloméré dispense d'enduit, de chape, de cintre, M. Belgrand admet qu'il donne cependant lieu à une économie définitive de 20 pour 100.

C'est donc particulièrement dans la préparation des pierres artificielles, dans les dallages, dans les murs de quais, dans la construction des égouts et dans les grands travaux du génie civil ou militaire, que le béton aggloméré de M. F. Coignet pourra donner des résultats avantageux; toutefois, il convient d'avoir égard à ce que, dans l'état actuel de sa fabrication, ses prix sont souvent plus élevés que ceux du béton ordinaire (1).

(1) Voir aussi le rapport publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1858, par une commission composée de MM. Mary, L. Reynaud, Emmery, Chevallier, Hervé-Mangon et E. Baude.

§ 5. — Ciment d'oxychlorure de magnésium.

M. Sorel, l'ingénieux inventeur d'un ciment formé d'oxychlorure de zinc, a fait des essais très-intéressants sur un ciment analogue dans lequel le zinc se trouve remplacé par le magnésium.

La fabrication de ce ciment d'oxychlorure de magnésium est très-simple : elle consiste à gâcher de la magnésie avec du chlorure de magnésium d'une densité qui varie, suivant l'emploi que l'on veut faire du ciment, de 15° à 30° de l'aréomètre de Baumé. Le ciment devient d'autant plus dur que le chlorure est plus concentré; mais, d'un autre côté, il résiste d'autant mieux à l'eau, que le chlorure est plus étendu. L'addition de certaines matières dans le liquide modifie notablement les propriétés du ciment magnésien; par exemple, 1 de chaux vive ou 2 de carbonate de magnésie pour 100 de chlorure à 25° augmentent l'hydraulicité du ciment. On donne aussi une dureté plus grande à ce ciment en saturant le chlorure de magnésium avec du chlorure de baryum ou bien avec du sulfate de magnésie.

Observons d'ailleurs que M. Sorel ajoute toujours à la magnésie des matières inertes, soit en poudre, soit en grains; elles ont pour effet de diminuer considérablement le prix de revient du ciment sans nuire à sa qualité. Ces matières sont principalement du sulfate de baryte, du sulfate de chaux cru, du marbre, des calcaires employés comme pierres à bâtir, du sable de rivière ou de mer, du granite, etc. On peut, sans inconvénient, ajouter à la magnésie trente et même quarante fois son poids de ces matières et obtenir cependant des blocs plus durs que la plupart des calcaires tendres servant aux constructions de Paris.

Voici quel serait le prix de revient des matières premières dans le ciment magnésien propre à bâtir, contenant 1 trentième de magnésie ou plus exactement à 1/33,8, en ayant égard au poids du chlorure :

Magnésie.....	4ᵏ	à 30ᶠ	les 100ᵏ...	2ᶠ 20
Calcaire en poudre fine.....	24	à 26	— ...	0 08
Sable de rivière.....	92	à 25	— ...	0 23
Chlorure de magnésium à 25°..	14 50	à 7	— ...	1 02
Total.....	134ᵏ 50	coûtent.....		2ᶠ 53

En évaluant le poids du mètre cube à 2,300 kilogrammes, on a environ 43 francs pour le prix du mètre cube de ciment magnésien à 1/33,8 de magnésie.

On pourrait encore diminuer notablement la proportion de magnésie et même la réduire à 1/50.

Voici, du reste, les résultats obtenus au Conservatoire des Arts et Métiers dans une série d'essais que M. Tresca a faits sur ce nouveau ciment. Les échantillons moulés en cube contenaient une proportion variable de magnésie ; ils avaient été mélangés de sable de rivière et de calcaire en poudre. Dans le nº 1, il y avait environ 1/50 de sable de mer, et le nº 2 ne renfermait pas moins de 75 pour 100 de calcaire en fragments.

	PROPORTION de magnésie.	PRESSIONS PAR CENTIMETRE CARRÉ Correspondant pour les cubes.	
		Aux 1ᵉʳˢ fissures.	A l'écrasement.
I	1/50	63 kil.	88 kil.
II	1/42	61	109
III	1/30	167	180
IV	1/20	271	271
V	1/10	237	318

On voit que la résistance à l'écrasement ou la force portante de ce ciment augmente avec la proportion de magnésie. Il suffit d'ailleurs que cette proportion soit de 1 dixième pour que la force portante devienne égale à celle des pierres calcaires de qualité supérieure.

Le ciment magnésien de M. Sorel suppose que la magnésie puisse être fabriquée à un prix peu élevé et de plus en quantité suffisante pour permettre son emploi sur une large

échelle dans les constructions. Malheureusement, jusqu'à présent, on ne connaît qu'un très-petit nombre de gisements dans lesquels le carbonate de magnésie soit pur et facilement exploitable. On le trouve cependant près de Wartha, dans la Silésie prussienne, en Grèce et aussi au Canada. Le carbonate de magnésie qui a servi pour les essais desquels nous parlons, provenait d'une île de la Grèce; il a l'avantage d'être très-pur, et son prix, rendu à Paris, ne dépasse pas 12 francs le quintal. Mais les eaux mères des marais salants fourniront peut-être un jour une mine pour ainsi dire inépuisable de magnésie, et c'est à elle que l'industrie nouvelle compte s'adresser.

M. Sorel propose de décomposer les eaux mères qui sont en grande partie du chlorure de magnésium, au moyen de la chaux vive; d'où il résulterait du chlorure de calcium et de la magnésie hydratée qu'il faudrait calciner. Il conviendrait d'employer les eaux mères à 20° Baumé, et de mettre moins d'un équivalent de chaux pour un équivalent de chlorure, afin qu'il ne restât pas de chaux indécomposée et que l'eau mère contînt encore du chlorure de magnésium. Par ce procédé, outre la magnésie, on aurait pour résidu du chlorure de calcium contenant une certaine quantité de chlorure de magnésium avec d'autres sels. M. Sorel utilise d'ailleurs un pareil résidu dès à présent, en y ajoutant un peu de magnésie et certaines matières en poudre, telles que de la craie ou de l'hydrate de chaux; il obtient ainsi un liquide donnant un badigeon qui est très-adhérent et qui durcit la surface des pierres tendres et des plâtres.

Outre l'application du nouveau ciment magnésien à la confection des pierres factices, on peut l'employer pour beaucoup de produits qu'il serait impossible de fabriquer avec les autres ciments. De plus, qu'il soit pur ou mélangé avec des matières convenables, telles que du sulfate de baryte ou de chaux, ou bien avec des carbonates de ces bases, il se laisse mouler comme le plâtre. On en fait aussi des objets qui imitent parfaitement le marbre et en possèdent la dureté.

On peut du reste donner au ciment magnésien les couleurs les plus vives, ce qui permet de l'employer pour confectionner des mosaïques en ciment et des marbres d'un très-bel effet décoratif.

M. Sorel a recours à un procédé très-économique pour graver le marbre qui est destiné à former des mosaïques. C'est un procédé analogue à celui de la lithographie, par lequel on transporte d'abord sur le marbre une encre grasse qui couvre toute la partie devant former le fond du dessin, et laisse au contraire à nu le dessin lui-même qui est alors gravé par l'action de l'acide. Le marbre étant ainsi préparé, on enlève l'encre grasse; ensuite, on remplit les creux faits par la gravure à l'acide avec du ciment auquel on donne les teintes voulues; puis, lorsque le ciment est durci, on le dresse et on le polit en même temps que le marbre.

On peut, en employant ce procédé, décorer toute sorte d'objets en marbre, tels que tables, cheminées, lambris, plafonds, carrelages.

On peut encore, avec le nouveau ciment, obtenir des parquets mixtes en bois qui sont incrustés de ciment de couleur, formant mosaïque. Pour cela, on découpe, au moyen de la scie, d'après des dessins donnés, des planches en bois dur de la forme voulue et de dix millimètres environ d'épaisseur; on double ces planches découpées avec d'autres planches pleines, et l'on remplit les vides du découpage avec du ciment d'une ou de plusieurs couleurs; lorsque le ciment est suffisamment durci, on le dresse et on le polit.

On fait aussi, avec le nouveau ciment, des imitations de marbres de toutes couleurs et d'une grande dureté.

Nous ajouterons qu'en introdusant dans la composition du ciment magnésien une certaine quantité de coton réduit en poudre fine, l'on obtient un produit qui imite l'ivoire. Il se laisse parfaitement travailler sur le tour; on en a d'ailleurs fabriqué des billes de billard ressemblant beaucoup à l'ivoire naturel, ayant la même dureté et presque la même élasticité.

rant un béton dans lequel on introduit des fragments de marbres; on le moule en dallages ou bien en carreaux présentant différentes formes, et, au bout d'un mois, il est devenu assez dur pour qu'on puisse le scier et lui donner le poli. Des tables, des colonnes, ayant la structure de brèches et de poudingues naturels, avaient été fabriquées de la même manière. Ces mosaïques en ciment produisent un assez bel effet, sont plus dures et absorbent moins l'eau que les mosaïques vénitiennes que l'on moule sur place en incorporant des fragments de marbre dans une pâte composée de chaux et de brique pilée. Elles ont d'ailleurs sur les stucs le grand avantage de résister beaucoup mieux à l'usure et de pouvoir s'employer à l'extérieur.

§ 3. — Chaux hydrauliques.

Les chaux hydrauliques étaient fort nombreuses à l'Exposition; quelques-unes nouvelles, la plupart provenant de gîtes depuis longtemps connus. Il ne serait pas possible de les décrire sans dépasser les bornes de ce rapport, et nous nous contenterons de signaler spécialement la plus importante de toutes, celles du Theil, dans l'Ardèche.

Chaux du Theil. — Les calcaires qui la fournissent contiennent de nombreux fossiles, et particulièrement des criocères, montrant qu'ils appartiennent aux marnes néocomiennes inférieures; ils se développent sur une grande étendue et s'exploitent, non-seulement dans l'Ardèche, mais encore dans la Drôme et à l'est du cours du Rhône; au Theil, leur épaisseur atteint 100 mètres. Par la cuisson, ils se convertissent en une chaux renfermant près d'un cinquième de son poids de silice attaquable par les acides, silice à laquelle elle doit sa vertu éminemment hydraulique. Son prix est de 15 francs la tonne. Blutée, elle pèse 700 kilogrammes le mètre cube. Des essais ont fait voir qu'un mortier formé de 300 kilogrammes de chaux avec 1 mètre cube de sable donnait par centimètre carré une résistance à l'arrachement de 1 kil. 54 au bout de quarante-cinq jours et de 8 kil. 63 au bout de deux ans. De même on a con-

stati que la résistance à l'écrasement atteint 9 kil. 81 après quarante-cinq jours d'immersion et près de 40 kilogrammes après une année. Ces résistances sont du reste bien inférieures à celles qu'on obtient avec un bon ciment comme le Portland.

L'usine de Lafarge, la principale de celles dans lesquelles on fabrique la chaux du Theil, atteint des proportions extraordinaires et couvre une surface de 6 hectares ; elle possède trente-quatre fours à feu continu et elle produit par jour 340 tonnes de chaux blutée; de plus, sa position sur les bords du Rhône lui permet d'expédier au loin une chaux hydraulique de très-bonne qualité.

La chaux du Theil est surtout extrêmement précieuse parce qu'elle possède la propriété exceptionnelle de résister à l'action décomposante des sels contenus dans l'eau de la mer; les expériences faites, soit dans la Méditerranée, soit dans l'Océan, ont toujours donné les résultats les plus satisfaisants. On peut aussi la gâcher indifféremment avec de l'eau douce ou bien avec de l'eau salée. L'expérience a montré que si l'on veut composer un mortier devant simplement rester à l'air, il suffit de 250 kilogrammes de chaux du Theil par mètre cube de sable ; si le mortier baigne dans l'eau douce, la dose de cette chaux doit être portée à 300 kilogrammes ; et, enfin, dans l'eau de mer, on l'élève à 350 kilogrammes. Lorsqu'on emploie du ciment Portland pour les mêmes usages, il en faut un poids beaucoup plus considérable et qui dépasse même 600 kilogrammes. La dépense est donc plus grande.

Lorsque les bétons de chaux du Theil sont destinés à la mer, on les compose de trois volumes de pierres et de deux volumes de mortier formé comme on vient de le dire.

Il peut paraître remarquable qu'une simple chaux comme celle du Theil résiste aussi bien à l'eau de mer ; on sait en effet que cette eau tend surtout à désagréger les mortiers qu'elle baigne en transformant leur chaux en sulfate ; de sorte que, toutes choses égales, il semblerait assez naturel de réduire autant que possible la proportion de chaux. C'est pourquoi

Vicat a conseillé, pour les constructions à la mer, des ciments composés avec des pâtes très-chargées d'argile et, par conséquent, des ciments pauvres en chaux et riches en alumine ainsi qu'en silice. Des mortiers à base de magnésie et fabriqués par la cuisson de carbonate de magnésie pur, seraient même préférables; mais les gisements de carbonate de magnésie sont rares et, jusqu'à présent, l'industrie ne s'est pas assez préoccupée du parti qu'il était possible d'en tirer.

Quant à la vertu exceptionnelle que possède la chaux du Theil de résister à l'eau de la mer, elle doit être attribuée à ce que cette chaux est intimement mélangée de silice attaquable, avec laquelle elle se combine, et qui se trouve dans la proportion voulue pour former un hydrosilicate de chaux bien stable.

§ 4. — Béton aggloméré.

A l'Exposition de 1867, l'industrie du béton aggloméré était bien complétement représentée par M. F. Coignet. Comme nous avons déjà fait connaître cette industrie dans notre Rapport de 1862, sur l'Exposition de Londres, il suffira de signaler les perfectionnements qu'elle a reçus et les principaux travaux exécutés dans ces derniers temps.

M. F. Coignet fabrique le béton aggloméré en mélangeant d'une manière très-intime de la chaux avec du sable ou avec du gravier. Dans certaines circonstances, on ajoute d'ailleurs un peu de ciment à la chaux. Le tout est ensuite tassé dans des moules en planches auxquels on a donné la forme voulue. Il importe de bien veiller à ce que la quantité d'eau introduite soit aussi faible que possible, c'est-à-dire réduite à celle qui est nécessaire pour lubréfier le béton et pour l'amener à l'état grenu. Comme ce béton est pilonné par couches successives, on conçoit, en effet, que pour cimenter les couches entre elles, il faut éviter tout excès d'eau qui, étant incompressible et remplissant les interstices, empêcherait le tassement et la pénétration mutuelle des matières. D'un autre côté, le temps

assez long réclamé par l'opération du pilonnage exige que le ciment duquel on se sert soit à prise lente.

Quelques perfectionnements ont été apportés par M. F. Coignet dans la construction des appareils broyeurs et malaxeurs qui sont destinés à préparer le béton et à le rendre bien homogène. De même que pour le mortier ordinaire, il est obligatoire de se servir de sable de rivière, et l'expérience a montré que les sables fins exploités aux environs de Paris dans les étages de Beauchamp ou de Fontainebleau ne donnent jamais des résultats satisfaisants. Il faut aussi veiller à la qualité de la chaux et éviter les incuits qui donnent lieu à des exfoliations. L'introduction de la brique pilée et même celle de la pouzzolane dans le béton aggloméré ne sont pas à recommander, parce que ces matériaux le rendent plus poreux et plus hygrométrique. Le sable de mer et tout sable imprégné de la plus minime partie de sel doit à plus forte raison être exclu.

Mais la partie délicate de l'emploi du béton aggloméré tient toujours à la difficulté de bien cimenter entre elles les couches successives et superposées qui le composent. Dans le béton ordinaire, qui est fabriqué avec excès d'eau, on y arrive assez facilement; tandis que dans le béton aggloméré, dans lequel il y a au contraire très-peu d'eau, la surface supérieure de la couche ne tarde pas à se lisser et elle fait souvent prise avant d'être recouverte par une couche nouvelle. C'est même ce qui a lieu chaque fois que le travail se trouve interrompu. Aussi est-il nécessaire de râcler fréquemment à vif la surface supérieure, de l'arroser avec un lait de chaux, de procéder par couches minces et de ne confier cette partie du travail qu'à des ouvriers bien expérimentés et surtout très-consciencieux. A défaut de ces précautions, il peut arriver que le béton aggloméré se délite en feuillets parallèles; d'un autre côté, lorsqu'on les observe, ce béton devient d'autant plus dur que le pilonnage a été fait avec plus de soin.

Il convient d'ailleurs de remarquer que l'expression de

habitations élégantes, des églises, des théâtres, et, en général, des monuments.

§ 8. — Pierres fabriquées par voie humide.

Pierre artificielle de Ransome. — Les Expositions antérieures ont déjà fait connaître la pierre artificielle de Ransome, et l'on sait qu'elle se fabrique de toute pièce, par voie humide. Le procédé qui est suivi consiste à mélanger du sable, de la craie et au besoin d'autres substances minérales avec un peu d'hydrosilicate de soude. Cette première opération se fait dans un malaxeur ordinaire, et le mélange obtenu, qui est de consistance plastique, est d'abord pressé dans des moules où il prend la forme que la pierre doit recevoir. Ensuite on le trempe dans une dissolution de chlorure de calcium, ce qui donne lieu à une double décomposition; il se produit en effet de l'hydrosilicate de chaux qui, à l'instant même, cimente fortement le sable ainsi que les substances minérales introduites dans la pierre artificielle, tandis que le chlorure de sodium qui s'est formé peut être enlevé par des lavages.

Les expériences faites en Angleterre sur la pierre de Ransome, ont montré qu'elle résiste mieux aux acides et à la dégradation de l'atmosphère que les calcaires desquels on se sert dans les constructions. Sa dureté et sa cohésion augmentent avec le temps; elle présente aussi une grande résistance à la rupture : d'après le professeur Ansted, cette résistance est même supérieure à celle des bonnes pierres calcaires employées dans les constructions de l'Angleterre, telles que les pierres de Portland et les calcaires oolithiques de Caen et de Bath.

Ajoutons que le silicate de soude et le chlorure de calcium, réactifs nécessaires pour fabriquer la pierre de Ransome, peuvent s'acheter directement dans les usines, sans qu'il soit aucunement nécessaire de les préparer sur place; la quantité que l'on en consomme n'est d'ailleurs qu'une fraction très-petite des pierres obtenues, de sorte que ces réactifs suppor-

tent facilement des frais de transport. Il n'y a pas d'établissement spécial à construire et presque partout on trouve aisément du sable, de l'argile, et les substances minérales qui sont nécessaires. Les moules sont faits très-économiquement avec du bois ou bien avec du plâtre; ils permettent de reproduire les ornements d'architecture les plus délicats. Il en résulte qu'en Angleterre, le plus souvent la pierre artificielle revient à un prix moins élevé que la pierre naturelle, car elle n'a pas à supporter des frais de taille et de mise en œuvre; elle sort du moule toute prête à être employée.

Il est du reste facile de fabriquer des pierres artificielles creuses de manière à diminuer leur poids et à réduire la dépense de leur transport. Enfin on leur donne très-aisément telle couleur que l'on veut.

On pouvait voir à l'Exposition de l'Angleterre divers objets moulés en pierre artificielle de Ransome, qui étaient d'une exécution remarquable et imitaient la pierre naturelle de manière à tromper un œil même exercé.

Pierre artificielle à base de chaux. — Dans le système précédent, les pierres artificielles sont fabriquées par voie humide et par double décomposition, mais on peut aussi se contenter, comme M. Oudry, de soumettre un mortier de chaux à une simple pression. Au moyen d'un rouleau, on comprime dans des moules, amenés successivement par chemin de fer, un mortier qui est formé de sable, de chaux et de ciment; la composition du mélange est d'ailleurs celle qui a été donnée précédemment pour le béton aggloméré. En procédant de cette manière, on évite les inconvénients du pilonnage par couches successives et les fissures auxquelles il donne souvent lieu; toutefois la pierre ainsi obtenue réclame un temps assez long pour se dessécher et pour arriver à un état de consolidation qui permette son emploi dans les constructions.

Enfin, nous ajouterons que, aux États-Unis, on a cherché à fabriquer des pierres artificielles en soumettant un mortier de

chaux à l'action simultanée de la chaleur et de la pression. L'intermédiaire employé est alors la vapeur d'eau à haute température. La consolidation du mortier s'opère alors par des effets de métamorphisme analogues à ceux que les roches volcaniques ont produits au contact des grès et des sables, à travers lesquels elles ont fait éruption.

§ 9. — Pierres fabriquées par voie sèche.

A différentes reprises, on a cherché à fabriquer des pierres artificielles par voie sèche, en faisant fondre des silicates qu'on coulait ensuite dans des moules, de manière à leur donner immédiatement la forme voulue. Tantôt les silicates employés sont naturels, et l'on a soin de les choisir parmi ceux que la chaleur amène le plus facilement à l'état de fusion, tels que les basaltes et les laves. Tantôt ces silicates sont artificiels, et l'on emploie spécialement ceux que la métallurgie produit sur une grande échelle, tels que les laitiers de hauts fourneaux, les scories provenant du travail du fer et du cuivre.

Il est d'ailleurs nécessaire de leur donner la structure cristalline afin de leur faire perdre la fragilité qui accompagne toujours la structure vitreuse. On y parvient, soit en les réchauffant à une température inférieure à celle de leur fusion d'après le procédé de Réaumur, soit, au contraire, en les laissant se refroidir avec une très-grande lenteur.

Laitiers cristallins. — L'Exposition montrait des pierres artificielles assez remarquables obtenues par la société de Vézin-Aulnoye au moyen des laitiers de ses hauts fourneaux. Ces laitiers sont coulés en grandes masses, qu'on abandonne pendant plusieurs jours à un refroidissement très-lent; au lieu de rester vitreux, ils deviennent alors lithoïdes, et prennent même la structure cristalline; on y distingue une multitude de lamelles grisâtres, enchevêtrées l'une dans l'autre, qui leur donnent de la ténacité, et offrent quelquefois la mâcle

caractéristique des feldspaths du sixième système; il y a aussi des grains noirs qui paraissent être de l'augite ; leur aspect est ainsi celui d'une dolérite naturelle. En conséquence de la pression exercée par les grandes masses sur lesquelles on opère, le produit obtenu n'est pas bulleux et scoriacé, mais très-compacte; il faut même le secours de la loupe pour distinguer des cellules microscopiques comme celles que présentent plus ou moins tous les silicates fondus. C'est surtout dans la partie centrale de ces laitiers que la structure cristalline est le plus développée ; tandis que la partie supérieure et celle qui touche les parois du moule restent à l'état vitreux ou même à l'état bulleux et scoriacé, à peu près comme dans le laitier ordinaire.

Après que ces masses de laitiers se sont refroidies, ce qui demande un temps assez long, il faut procéder à une véritable exploitation, comme pour les blocs de pierre d'une carrière. Il reste donc à les débiter, à les tailler pour leur donner les formes et les dimensions qu'ils doivent avoir. La partie vitreuse qui entoure le laitier fournit des débris susceptibles d'être employés pour l'empierrement des routes ; quant à la partie lithoïde, qui ne représente guère que la moitié de la masse totale, elle est utilisée comme pavés et aussi comme pierre à bâtir.

Des expériences faites au Conservatoire des Arts et Métiers, par M. Tresca, ont montré que les pierres artificielles fabriquées d'après le procédé qui vient d'être décrit, présentent, de même que les silicates naturels, une assez grande résistance à l'écrasement; car celles d'Aulnoye, près Maubeuge, et de Noveant, dans la Moselle, ont bien commencé à se fissurer sous des pressions voisines de 300 kilogrammes par centimètre carré; mais, pour l'écrasement complet, celle de Noveant exige un effort de plus de 600 kilogrammes.

Les pavés fabriqués avec les laitiers des hauts fourneaux se vendent au prix de 50 francs le mille, pour les dimensions de 20 centimètres sur 18 centimètres ; et pour des dimensions de 12 centimètres sur 10 centimètres, ils se réduisent à 20 francs. Ils ont été utilisés avec succès pour les routes avoisinant les

usines dans lesquelles on les produit ; on les a aussi essayés à Paris.

La densité des pierres artificielles fournies par les laitiers des hauts fourneaux dépasse souvent 2,90, et par conséquent elle est élevée. Il est du reste facile de l'augmenter encore en remplaçant les laitiers par des scories riches en fer, comme l'a fait M. Bérard ; on peut alors obtenir de gros blocs qui sont très-lourds et par cela même éminemment propres à résister dans les constructions à la mer.

On sait que les laitiers des hauts fourneaux sont très-encombrants pour les usines, au voisinage desquelles ils finissent par s'accumuler tellement qu'ils forment de petites montagnes ; il est donc utile de signaler les applications qu'on peut en faire aux constructions en les transformant en pierres artificielles. Mais la nécessité de les couler en grandes masses, de les laisser refroidir lentement et de les tailler ensuite, donne lieu dans ces usines à d'assez graves inconvénients. Remarquons aussi que, quand les laitiers contiennent du soufre, ils s'altèrent par l'action de l'air humide et répandent l'odeur d'hydrogène sulfuré. De plus, tous les laitiers ne sont pas susceptibles de prendre la structure cristalline, qui dépend avant tout de leur composition élémentaire ; à l'usine de Danemarie, dans la Meuse, on n'a pu parvenir à la leur donner.

Les produits présentés par la société de Vezin et d'Aulnoye, bien que dignes d'appeler l'attention, ne résolvent donc pas complétement les difficultés qu'il faut surmonter. Depuis longtemps, d'ailleurs, on emploie les laitiers tels qu'ils sortent des hauts fourneaux pour empierrer les routes ; souvent encore ils sont réduits à l'état de sable et de poudre fine, soit par le bocard, soit par un refroidissement subit dans l'eau froide, et alors ils servent comme matières pouzzolaniques à la confection de mortiers qui sont d'excellente qualité.

§ 10. — Composés bitumineux.

Lorsqu'une substance bitumineuse est mélangée à chaud

avec des débris pierreux pulvérisés, on obtient une pâte qui se moule facilement et donne des produits susceptibles d'être appliqués à une foule d'usages dans les constructions. L'inventeur de cet ingénieux procédé est M. Sébille.

La substance bitumineuse employée comme ciment est le brai fourni par les usines à gaz ; on a soin seulement de le débarrasser de ses huiles ; il suffit, d'ailleurs, qu'il soit en petite proportion, car il joue simplement le rôle de ciment, et, de plus, son action est secondée par la chaleur et par la pression. Les débris pierreux qu'on mêle au brai sont le plus habituellement l'ardoise. On se sert tantôt de l'ardoise de l'Anjou, tantôt de l'ardoise des Ardennes ; cette dernière est préférée particulièrement lorsque les produits doivent présenter une plus grande résistance à l'usure. Du quartz et du silex pulvérisés sont du reste introduits dans le mélange lorsqu'on veut lui donner de la dureté. Quelquefois l'ardoise pulvérisée se remplace par des escarbilles de coke ; mais alors le produit fabriqué est moins durable.

C'est à l'aide de machines spéciales et construites avec beaucoup d'intelligence que se font toutes les manipulations nécessaires à la préparation de ces composés bitumineux. D'abord des machines servent à triturer finement les débris pierreux ; elles en opèrent le mélange et la cuisson ; puis elles moulent, compriment et refroidissent les produits, qui se trouvent terminés en quelques secondes. Grâce à ce mode de préparation, les produits sont mieux fabriqués et beaucoup plus rapidement qu'ils ne le seraient à la main ; ils présentent surtout une très-grande régularité.

Les usages auxquels on emploie ces composés bitumineux sont très-variés. D'abord la ville de Paris commence à les utiliser sous forme de dallage à la confection de ses trottoirs ; ils remplacent alors le granit, et, comme le prix du mètre carré mis en place reste inférieur à 9 francs, il en résulte une économie qui dépasse 35 pour 100. Le grand vestibule d'entrée à l'Exposition Universelle a bien résisté aux nombreux visiteurs qui l'ont tra-

versé et donne un exemple des bons résultats qu'on obtient avec ce système de dallage.

Les difficultés que la ville de Paris rencontre maintenant pour se procurer à bas prix des pavés de bonne qualité, ont engagé la compagnie Sébille à essayer de leur substituer ses produits en les blindant au moyen d'une armature de fonte dure. On s'en sert encore pour faire des bordures de trottoirs qui sont également blindées en fonte de manière à résister aux chocs.

Les dalles et les pavés fabriqués en comprimant le mélange de brai et d'ardoise donnent surtout des résultats très-satisfaisants dans la construction des écuries et des étables, car les animaux s'y trouvent dans toutes les conditions voulues de propreté et d'hygiène; ils n'ont pas à redouter les maladies qu'engendrent souvent le froid et l'humidité; de plus, la paille et le fumier se conservent alors beaucoup mieux.

Observons encore que ces produits peuvent servir à faire des tuyaux qui ne sont pas sujets à s'oxyder comme ceux de fonte; en outre, ils résistent mieux au tassement que les tuyaux en ciment ou en terre cuite. Ils peuvent d'ailleurs se souder et même se courber et s'embrancher sur place. Ces produits seraient surtout employés très-utilement à la construction de réservoirs destinés à recevoir des acides.

Ainsi, le mélange du brai sec avec de l'ardoise pulvérisée ou bien avec d'autres débris pierreux donne des produits qui sont imperméables, susceptibles, lorsqu'on les compose convenablement, d'acquérir de la dureté et une grande résistance à l'usure résultant du frottement; d'un autre côté, ils sont très-solides et résistent très-bien aux chocs, de telle sorte qu'ils ont une longue durée.

Cette industrie présente enfin l'avantage d'utiliser des déchets d'ardoise qui sont très-gênants sur les exploitations et qui n'avaient pas trouvé d'emploi jusque dans ces dernières années.

SECTION II

TERRES CUITES ET POTERIES

PAR M. E. BAUDE.

Les terres cuites et poteries ne peuvent être appréciées dans les rapports de la classe 65 qu'au point de vue de leurs applications à l'art de construire. A cet égard on est d'abord frappé d'un premier fait : l'emploi de plus en plus général des formes justement recommandées à l'attention publique par les récompenses accordées dans les précédentes Expositions Universelles. Ainsi, les briques creuses de MM. Borie sont devenues d'un usage constant; elles se fabriquent aujourd'hui dans tous les pays, tandis que la maison qui a créé cette industrie à Paris continue à soutenir son ancienne réputation. La même observation s'applique aux tuiles de MM. Gilardoni, d'Altkirch (Haut-Rhin) : les formes primitives de ces tuiles ont été perfectionnées par leurs inventeurs dans quelques détails ; d'autres personnes ont cherché à les améliorer avec plus ou moins de succès, mais la plupart des spécimens présentés à l'Exposition dérivent du type créé par MM. Gilardoni et en reproduisent les dispositions essentielles.

Un progrès sensible se manifeste dans le choix des matières premières, ainsi que dans les procédés et engins de fabrication ; la libéralité avec laquelle l'administration, dans le but de favoriser les travaux de drainage, a répandu dans les campagnes de bonnes machines à traiter la terre a contri-

bué, en France, à ces heureux effets. L'examen de ces appareils était confié à d'autres classes.

En Allemagne, les fours annulaires de M. Frédéric Hoffmann, de Berlin, réalisent des améliorations considérables, qui ne sont pas encore appréciées partout ; les ingénieuses dispositions de ces fours simplifient les opérations de la cuisson et assurent une économie très-notable de combustible ; ils ont été très-remarqués ; ce ne sera pas dépasser les bornes qui conviennent à ce Rapport que d'essayer d'en signaler les principaux avantages.

Le four se compose essentiellement d'une galerie annulaire de deux mètres de haut sur trois de large, dans laquelle on pénètre par des portes ménagées dans le mur extérieur. Le combustible est introduit par un grand nombre de petites ouvertures pratiquées dans le dessus ou entrados de la galerie. Les produits de la combustion s'échappent en contre-bas par des conduits dirigés vers une cheminée centrale et pourvus de trappes régulatrices. Des registres verticaux en tôle, également espacés et en nombre égal aux conduits de fumée, permettent d'établir à volonté des cloisons transversales divisant la galerie en compartiments égaux.

Ce four, ainsi disposé, fonctionne, sans discontinuité, de la manière suivante : supposons-le en action ; l'un des grands registres en tôle sera fermé : dans la galerie, d'un côté de ce registre, à gauche par exemple, la trappe du conduit de fumée le plus voisin sera levée ; toutes les autres trappes seront baissées ; de l'autre côté, les deux portes extérieures correspondant aux compartiments les plus voisins du registre, à droite, seront ouvertes ; par la première s'opèrera l'enfournement des poteries crues, par la seconde aura lieu le défournement des produits cuits ; en suivant la galerie de la gauche vers la droite, on y rencontrera successivement des produits cuits se refroidissant, des produits à la température rouge, des objets soumis au plus grand feu, et, à partir de là, en achevant le circuit jusqu'au registre baissé, des objets se réchauffant progressivement

et soumis à tous les degrés intermédiaires de chaleur entre le feu le plus intense et le plus modéré.

On reconnaît par les indications précédentes que l'air frais entrant dans le four par les deux portes ouvertes pour l'enfournement et le défournement se réchauffe de plus en plus, en passant sur les poteries cuites à mesure qu'il approche de la partie du four en ignition ; il arrive à la plus haute température au point où la combustion se produit, et, à partir de ce point, il se dirige vers le dernier orifice d'évacuation, en abandonnant successivement sa chaleur aux objets enfournés qu'il rencontre, jusqu'aux derniers, voisins du registre baissé, qui sont en quelque sorte simplement enfumés. Quand l'enfournement et le défournement sont terminés à l'origine du circuit, on baisse le registre en tôle qui fait suite à celui dont il vient d'être question, on lève celui-ci, et la même série d'opérations se reproduit de proche en proche indéfiniment. Ces dispositions sont parfaitement combinées pour graduer l'action de la température et produire une grande économie de combustible: M. Hoffmann annonce que cette économie atteint les deux tiers de la quantité consommée dans les fours ordinaires. Il est d'ailleurs facile, au moyen des nombreuses ouvertures qui servent à l'introduction de ce combustible et des registres, de se rendre compte des progrès de la cuisson et d'en modérer ou d'en accroître à volonté l'activité.

Ces appareils sont propres à la cuisson des chaux, ciments et autres matières analogues aussi bien qu'à celle des terres cuites.

Plus de deux cents fours du système Hoffmann fonctionnent en Allemagne, et environ une trentaine, en Angleterre. Le vaste établissement de M. Henri Drasché, à Vienne (Autriche), en occupe à lui seul dix-neuf qui sont en état de produire chacun huit millions de briques par an. Les produits de cette immense usine ont particulièrement attiré l'attention : M. Drasché fait travailler plus de 4,500 ouvriers et sa fabrication annuelle s'élève à 198 millions de briques ; elle comprend, en

outre, les divers objets en terre cuite employés dans les bâtiments, et les motifs d'ornements, frises, chapiteaux, bas reliefs, vases, statues, très-employés à la décoration des édifices en Autriche, où la pierre sculptée est considérée comme trop chère : plusieurs des plus importants monuments de Vienne sont construits avec ces matériaux.

Les produits des anciennes et célèbres manufactures anglaises de MM. Minton, Blanchard, Pulham, Cliff, Maw, Doulton, etc., continuent à se faire remarquer par leur variété, leur solidité, la grande dimension des pièces, qui ne nuit pas à leur bonne cuisson, et par l'emploi, même dans les poteries les plus communes, de vernis qui paraissent de très-bonne qualité et offrent de précieuses garanties d'inaltérabilité.

M. Boni, de Milan (Italie), cherche à faire revivre dans ses ornements en terre les gracieuses créations de la renaissance, dont la Lombardie offre de célèbres modèles. MM. March, de Berlin, et Augustin, de Lauban (Prusse), ont envoyé de remarquables spécimens de ce système de décoration, dont les architectes modernes de l'Allemagne ont fait un fréquent usage. MM. Muller, Garnaud et Dumont fabriquent en France des ornements du même genre, d'après les modèles créés par les artistes les plus distingués ; mais les conditions plus favorables où nous sommes placés en France, sous le rapport des approvisionnements de matériaux, permettent de les appliquer plus spécialement aux toitures; un heureux changement s'est opéré à cet égard dans nos habitudes; il n'est plus permis de considérer les toitures comme un appendice indigne de l'attention de l'architecte et abandonné aux ouvriers couvreurs et fumistes : les lignes qui terminent un noble édifice et détachent sa silhouette sur le ciel appellent une décoration spéciale; la variété infinie des formes auxquelles se prêtent les terres cuites justifie amplement leur emploi dans ces conditions et quelques exemples précieux légués par le passé nous encouragent à entrer de plus en plus dans cette voie.

La fabrication des carreaux en terre, nue, vernie ou émail-

lée, décorée de dessins rehaussés de vives couleurs, si propres à former des revêtements sains, élégants, d'une propreté brillante et d'un facile entretien, est représentée par de nombreux envois. Les industriels anglais, et notamment MM. Minton, ont créé des modèles très-distingués de ce genre d'ornements. L'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la France, présentent une grande variété de systèmes de carrelages, et l'on remarque avec satisfaction que plusieurs producteurs ont su s'abstenir de réminiscences archéologiques. L'Orient, à cet égard, paraît rester fidèle à ses antiques traditions; on ne peut que s'en féliciter, en admirant les heureux effets du contraste des couleurs et du dessin bizarre des carreaux qui ornent les édifices élevés dans le parc de l'Exposition par l'Égypte, la Turquie, Tunis et le Maroc.

En résumé, l'industrie des terres cuites, appliquées aux constructions, paraît en voie de progrès : l'introduction du four annulaire de M. Hoffmann est un fait important et ne peut que la favoriser. Il est permis de croire que la multiplication des constructions métalliques n'a pas été sans influence sur ces améliorations; ces matériaux artificiels s'allient très-bien au fer; la fabrication a reçu en même temps une vive impulsion de la création des chemins de fer, qui mettent le combustible à la portée des bons bancs argileux dans des conditions meilleures et ouvrent aux fabriques de nombreux débouchés. Cette industrie est de celles qui exercent une action des plus salutaires sur le bien-être et la salubrité publique, en livrant à la consommation des matériaux économiques et durables, d'une pose facile, très-propres aux travaux d'assainissement des villes et des habitations: ses matières premières sont de peu de valeur; les frais de main-d'œuvre et de transport grèvent lourdement ses prix de revient ; il est à désirer que ses intérêts soient pris en sérieuse considération dans les questions de viabilité et de tarifs sur lesquelles l'administration peut exercer une action directe.

SECTION III

MATÉRIEL DES TRAVAUX DU GÉNIE CIVIL ET DE L'ARCHITECTURE

PAR M. VIOLLET-LE-DUC.

CHAPITRE I.

MATÉRIEL DES CHANTIERS.

§ 1. — Considérations générales.

Diverses causes ont dû modifier profondément la nature des engins employés dans les constructions publiques et privées, depuis quelques années. La rapidité dans l'exécution, le prix toujours croissant de la main-d'œuvre, le défaut d'espace, la variété des matériaux employés, doivent être considérés, parmi ces causes, comme les plus importantes. Que l'on se reporte à quelques années en arrière et l'on constatera aisément que, alors, dans les travaux de construction, on en était encore à l'emploi des engins traditionnels légués par le passé, engins grossiers, mus à bras d'hommes, pourvus d'une puissance médiocre, encombrants et difficilement transportables.

L'Exposition Universelle de 1862 fournissait déjà des moteurs à vapeur propres à l'épuisement des fouilles inondées, au corroyage du mortier, au montage des matériaux ; mais

ces moteurs n'étaient encore qu'une force appliquée aux anciens systèmes d'épuisement, de corroyage ou de montage. La locomobile remplaçait les bras, et les engins intermédiaires étaient à peine modifiés dans leur système et dans leur forme. En effet, sur les chantiers, peu d'entrepreneurs étaient disposés à renouveler leur vieux matériel ; soit par esprit de routine, soit par économie, on se contentait de remplacer les bras par les moteurs à vapeur, parce qu'on était bien forcé de reconnaître les avantages de ce dernier mode; encore, ces locomobiles étaient-elles lourdes et d'un prix élevé.

Les ouvriers ne se prêtaient pas volontiers aux perfectionnements que l'on tentait d'introduire dans les anciennes méthodes de travail. Malgré ces difficultés, ces obstacles, grâce au nombre des constructions entreprises à la fois sur presque toute la surface de l'Europe, à la nécessité de faire vite et dans des conditions de dépenses possibles, on a pu constater, depuis quelques années, des progrès sensibles dans l'exécution des engins applicables aux constructions. Il reste encore beaucoup à faire cependant ; car on ne saurait nier que le matériel des chantiers de construction est une branche de l'industrie en retard, si, par exemple, on la compare à celle du matériel destiné à l'agriculture. Ainsi, pour les travaux de terrassements, sauf quelques cas particuliers où l'on emploie des machines à forer et à fendre les roches, on en est toujours réduit aux terrassiers. Les perfectionnements, dans ces sortes de travaux, consistent à établir de petits chemins de fer, sur plans inclinés, avec wagons, tirés de la fouille par des moteurs et déchargeant leur contenu dans les tombereaux ou sur les points à remblayer. Si ces établissements sont faits avec méthode, ils ont déjà sur les anciens procédés, des avantages notables quant au temps et à la dépense, mais il est évident qu'ils ne donnent pas tous les résultats que l'on est en droit de demander à l'industrie moderne. Les petits chemins de fer composés par travées avec plaques tournantes, légères, ne sont point encore assez maniables, ne peuvent être changés

assez rapidement, pour satisfaire aux exigences des terrassements qui n'ont pas une grande étendue et qui, par cela même, demandent des modifications continuelles dans la manœuvre. L'emploi des excavateurs à chapelets qui pourraient rendre des services si fréquents, ne s'est pas généralisé dans les fouilles ordinaires. Le transport des déblais, par tombereaux, jusqu'aux décharges publiques, semble barbare et appartenir à un autre âge, surtout dans les villes populeuses où ces transports sont l'occasion d'encombrements suivis d'accidents. Si, pour les travaux des chemins de fer, l'industrie fournit des wagons bien organisés, à caisse automatique, déchargeant les remblais dans les quatre sens avec une grande facilité, wagons établis à des prix très-modérés, nous ne trouvons rien d'équivalent pour les travaux de constructions urbaines; on en est encore réduit au pelletage et au transport à l'aide du vieux tombereau que l'on fait descendre dans les fouilles ou que l'on charge sur berge au moyen de banquettes. Il semblerait cependant que des chapelets mus par des locomobiles, pourraient être organisés de manière à enlever les terres du fond des fouilles, au moins, quand celles-ci arrivent à pic sur les voies publiques et à charger, non plus les vieux tombereaux, mais des caisses suspendues à des fardiers à grandes roues; caisses que, par un mécanisme très-simple, on pourrait vider aux décharges publiques, sans crainte (comme cela arrive parfois pour les tombereaux) d'entraîner voiture et cheval le long du talus.

§ 2. — Engins propres à élever les matériaux.

En dehors des engins de transport utilisés pour les grands travaux de terrassement, l'Exposition de 1867 ne fournit rien qui puisse être appliqué aux constructions ordinaires. Par compensation, les engins propres à monter les matériaux présentent des perfectionnements très-importants sur les machines élévatoires exposées en 1855 et 1862. Indépendamment des agens de forces motrices nouvellement adaptées à ces engins

et dont nous n'avons point à nous occuper ici, on doit constater que les machines élévatoires ont acquis une supériorité marquée sur celles qui furent exposées en 1862. Plus simples, plus pratiques, exécutés avec perfection, moins dispendieux que par le passé, ces engins tendent chaque jour à supprimer les bras, à fonctionner plus rapidement et à parer plus efficacement aux accidents. Les locomobiles qui font agir les treuils d'enroulement des câbles, utilisent leur force, dans l'intervalle des montages, à faire du mortier, à puiser de l'eau, etc. Rien n'est perdu ainsi, ni le temps des hommes ni le combustible. Les monte-charges (1) hydrauliques ne consomment que la force utile et sont d'une simplicité qui leur assure de grands avantages.

Il est évident que, au prix atteint par les matériaux de construction et par la main-d'œuvre, pour qu'une entreprise puisse rendre au soumissionnaire des bénéfices légitimes, celui-ci doit aujourd'hui gagner sur le temps employé. Nos constructions modernes coûtent en raison du temps que l'on met à les achever. C'est là un axiome dont les entrepreneurs intelligents sont pénétrés, surtout en Angleterre et aux États-Unis où, plus qu'en France, le temps est considéré comme ayant une valeur déterminée.

Si les monte-charges exposés dans la section française donnent déjà des résultats très-satisfaisants, les moyens de bardage sur le tâs laissent, dans la plupart des cas, beaucoup à désirer. Des bardages sur le tâs à l'aide de chemins de fer et de chariots auxquels sont suspendus les matériaux, ne sont employés que dans les travaux du génie civil, tels que les ponts, les quais, les viaducs, ou dans de grands édifices, mais ne s'appliquent guère aux constructions privées, en France tandis que nous les voyons généralement employés en Angleterre.

Cependant la France étant une des contrées de l'Europe les

(1) De M. Edoux.

mieux pourvues de pierres à bâtir, il y aurait un intérêt majeur à remplacer les bardages à bras sur le tâs, par un système de chariots se mouvant en tous sens sur des rails et permettant ainsi de poser les pierres à bain de mortier, à la louve, épannelées très-près. Si les frais d'établissement sont plus considérables, il est certain que l'on gagnerait en temps, et au delà, le montant de ces frais, une perfection plus grande dans le travail, et que les chances d'accident seraient supprimées.

On sera convaincu de la réalité de notre appréciation en supputant le nombre de bras employés au bardage par voie ordinaire, sur les plats-bords, le matériel que ce bardage exige, le temps nécessaire à son déplacement à chaque assise, la lenteur et l'imperfection du mode de fichage ou de coulage des pierres. Le premier pas, dans cette voie de perfectionnement, est déjà fait par l'emploi des derniers monte-charges mis en pratique, mais on ne saurait s'arrêter à mi-chemin ; il devient absolument nécessaire de songer à perfectionner le mode de bardage.

Des tentatives heureuses ont déjà été faites, d'ailleurs ; la chèvre roulante (1) avec chariot mobile à son sommet et qui, après avoir élevé la pierre, la projette sur le point qu'elle doit occuper, est une ingénieuse machine, supérieure, comme puissance, à la chèvre, munie d'une verge s'abattant suivant un angle plus ou moins incliné sur l'horizon.

Reconnaissons cependant que cet engin, par cela même qu'il remplit une double fonction, occasionne une perte de temps ; en effet, quand la chèvre est employée à monter la pierre, elle ne la pose pas ; quand elle la pose, elle n'en peut monter une autre.

L'essentiel serait d'arriver à ce que le monte-charges, ne cessât jamais de fonctionner comme ascenseur, et le chariot comme bardeur et poseur. En dehors des puissants ascenseurs

(1) Entre autres celle de M. Cousté qui fonctionne avec succès sur plusieurs chantiers.

qui peuvent monter assez rapidement, à l'aide d'un moteur d'une force de cinq à six chevaux de vapeur, 3,500 kilogrammes, nous voudrions voir adopter, dans les constructions, de petits ascenseurs spéciaux à chapelets pour monter la brique, les moellons, les plâtras, le mortier et les augées de plâtre; car on avouera qu'il est quelque peu barbare, lorsqu'on possède des locomobiles, de faire monter ces augées de plâtre par des garçons; c'est encore là, indépendamment du procédé primitif, une cause notable de perte de temps.

Une force un peu plus puissante donnée aux locomobiles de chantiers permettrait, par des transmissions, de faire agir simultanément les deux ascensions, grande et petite, et d'occuper les ouvriers avec plus de suite et d'ensemble. L'augmentation de la main-d'œuvre, dût-elle être encore plus forte qu'elle ne l'est aujourd'hui (et ce ne serait qu'équitable, les ouvriers perdant moins de temps), ne réagirait pas d'une manière aussi funeste sur les constructions, en augmentant leur prix démesurément, si tous les moyens que l'industrie peut nous fournir étaient mis en pratique par les entrepreneurs, et si, connaissant mieux leurs véritables intérêts, ils faisaient les sacrifices nécessaires pour éviter les bras inutiles. Si, en Angleterre, les constructions sont relativement moins chères qu'en France, cela tient en partie à l'emploi méthodique et suivi de ces moyens mécaniques sur les chantiers.

Pour l'adoption des monte-charges, il est encore une considération qu'il faut faire valoir, c'est la suppression de toute chance d'accident. Cette question a préoccupé un exposant français (1) qui a établi des ascenseurs à parachute combinés de manière à éviter toutes causes d'accidents, par fausse manœuvre, rupture de chaîne, démanchement de treuil, etc. Il est à désirer que, dans tous les chantiers, on prescrive l'emploi de

(1) M. Bernier. De nombreuses expériences faites avec les appareils de M. Bernier nous ont démontré que, par suite d'accidents très-graves, tels qu'une rupture de chaîne, un bloc de pierre de 2,000 kilogrammes éprouve un abaissement de 0m01 au plus.

monte-charges à parachute. Il faut remarquer que la plupart des accidents sont la conséquence de rupture de chaînes et que ces ruptures sont occasionnées par une fausse position des chaînons. Une chaîne qui aura monté longtemps des charges de 5,000 kilogrammes sans subir d'allongement sensible, rompra tout à coup sous un poids beaucoup moindre, parce qu'un chaînon aura pris une position oblique, lorsque la chaîne aura été détendue. Pour parer à cet inconvénient, il est utile d'avoir un guide-chaîne qui maintienne celle-ci toujours suffisamment tendue de telle sorte que les chaînons ne s'embrouillent pas. Le *boulet* ajouté par M. Bernier à son ascenseur nous paraît résoudre la difficulté de la manière la plus satisfaisante. Il est à regretter que les nations qui, aujourd'hui, ont donné à leurs constructions civiles un grand développement, comme l'Angleterre, la Prusse, les États-Unis, n'aient pas exposé un plus grand nombre de ces puissants engins de chantiers, tels que monte-charges, sonnettes (1), ascenseurs à chapelets, et cependant, il est de notoriété que, dans ces pays, ces engins ont subi, depuis quelques années, des perfectionnements remarquables. En revanche, les produits ouvrés et les outils de main abondent.

§ 3. — Taille des pierres.

Bien que la taille de la pierre par des moyens mécaniques n'ait pas encore été généralisée, cependant l'Exposition présente des produits intéressants en ce genre. L'Angleterre paraît avoir, à cet égard, conservé la supériorité qu'elle avait sur la France dans les Expositions précédentes. La Prusse taille le marbre et la pierre en grandes pièces par des moyens mécaniques, et elle a exposé de beaux marbres de Silésie parfaitement taillés, moulurés et polis à l'aide de machines (2), à

(1) Il faut cependant citer ici la sonnette à vapeur de M. Eassie et Cie, de Glocester, qui doit être d'un bon usage, et celle de MM. Sissons et White à Hull.

(2) De l'usine de M. Schleicher et Cie.

des prix relativement bas. Cette industre a pris dans ce pays un développement considérable. Peut-être la rareté de la pierre à bâtir a-t-elle contribué à ce développement. Les marbres de Silésie sont employés aujourd'hui communément en Prusse, et leur prix en œuvre est abordable pour les constructions ordinaires. L'Angleterre paraît cependant avoir négligé la taille de la pierre à la machine, depuis qu'elle a si fort perfectionné ses terres cuites, dont la qualité excellente et la belle fabrication ont fait un produit très-supérieur aux pierres tendres employées autrefois dans les constructions.

En France, la taille mécanique de la pierre n'est pas encore très-répandue ; elle tend à se développer sinon sur de très-grandes pièces, au moins pour des objets de dimensions médiocres, tels que colonnettes, balustres, vases, découpures de crêtes ou attiques (1). Toutefois cette industrie est en retard, et ne s'applique pas encore aux grands ouvrages. Sur tous nos chantiers, les pierres dures sont encore sciées à bras, ce qui est long et très-dispendieux, surtout aujourd'hui que l'on emploie, dans tous les grands centres et sur les travaux de chemins de fer, de ponts, de canalisation, une grande quantité de ces matériaux, très-résistants et compactes.

En Angleterre, il y a longtemps que l'on débite les pierres dures à l'aide de moyens mécaniques. On ne le fait en France que pour certaines natures de pierres très-dures, qui sont envoyées toutes taillées des carrières, comme, par exemple, les pierres du Jura.

Il est vrai qu'il est difficile d'organiser sur un chantier des scieries mécaniques de pierres dures; mais pourquoi, à Paris notamment, toutes les qualités de pierres dures ordinaires arrivent-elles brutes et ne sont-elles pas amenées des carrières prêtes à être posées, ce qui pourrait se faire, puisque ce procédé est employé, dans un certain nombre de localités, au

(1) Il est juste de citer à cette occasion l'usine de M. Hiblot, à Boulogne-sur-Seine ; les produits sortis de ces ateliers et placés dans un certain nombre d'édifices publics et d'hôtels sont d'une execution irréprochable et d'un prix peu élevé.

grand avantage de l'œuvre? Les pierres dures de Belgique, dites *petit granit*, sont expédiées taillées de la carrière, si on le demande. Il en est de même de celles du Jura, de celles dites de l'*Échaillon*, ce qui permet l'emploi des machines, en grand, et ce qui diminue sensiblement le prix de la taille. Pourquoi n'en serait-il pas de même des pierres dures de Bourgogne, d'Anstrude, d'Euville, etc.? Il suffirait, pour faire adopter cette méthode, de combiner d'avance l'appareil des parties de l'édifice à élever en pierres dures, et cela dans le bureau même du directeur de l'œuvre, et de faire faire les panneaux en même temps que l'on compose les formes que l'on prétend donner à l'architecture.

Les choses se passent très-rarement ainsi. L'architecte, préoccupé d'une forme d'art, donne les détails à l'entrepreneur, sans préciser l'appareil et en se contentant d'indiquer la nature de la pierre à mettre en œuvre. Les pierres sont demandées à la carrière telles quelles, et l'appareilleur choisit dans ces blocs, de toutes dimensions, ceux qui se rapprochent le plus des panneaux que lui-même a tracés. De cette manière d'opérer, il résulte des déchets considérables et l'obligation d'employer, sur le chantier, des scieurs de pierres. Les transports de ces matériaux se faisant aujourd'hui par les voies ferrées, il y aurait à mettre les principales carrières de pierres dures en communication avec ces voies, par des embranchements; à établir, dans ces carrières mêmes, des usines propres à débiter les matériaux d'après les calepins envoyés des chantiers, afin de les pouvoir poser aussitôt leur arrivée dans les centres de grands travaux.

Les transports demanderaient plus de soins, coûteraient peut-être un peu plus cher; mais ces transports étant évalués au poids, on ne payerait pas, du moins, la pierre à abattre; les droits d'octroi, d'après le cube, ne s'appliqueraient ainsi qu'au cube réel et non au cube compris déchet. Il nous semble que le moment est venu de s'occuper de ces questions d'un intérêt sérieux pour les administrations et les particuliers qui

font bâtir ; et, à notre avis, l'initiative des mesures à prendre doit partir des directeurs de travaux ; car, il faut le reconnaître, ce qui manque aux diverses industries du bâtiment, c'est l'organisation d'ensemble. Beaucoup d'efforts partiels sont faits : c'est aux architectes à les réunir et à les coordonner suivant une direction méthodique. Les ingénieurs des ponts et chaussées et les ingénieurs civils chargés de grands travaux, ont seuls fait des efforts en ce sens ; quant aux architectes, trop préoccupés peut-être de questions qu'ils supposent intéresser le grand art (comme si la première question, pour un directeur de travaux, n'était pas l'emploi des moyens pratiques propres à rendre ses conceptions), ils abandonnent aux entrepreneurs et agents subalternes le choix des moyens pratiques.

En admettant même, ce qui a lieu dans bien des cas, que les entrepreneurs aient, chacun en ce qui les concerne, des procédés ingénieux ou économiques à fournir, la direction d'ensemble faisant défaut, ces procédés ne présentent pas les résultats qu'on en pourrait attendre, s'ils venaient se grouper et s'entraider sous une initiative supérieure.

Ce sont là, non-seulement des questions de bonne construction, mais aussi d'économie, et nous ne devons pas perdre de vue qu'en France les constructions sont relativement plus chères que partout ailleurs. L'art de la construction doit tenir compte de l'emploi des moyens mécaniques, dans notre siècle, s'en emparer, les diriger et en tirer tout le parti possible : Or, il n'est pas besoin d'être du métier pour constater que parallèlement à des engins déjà très-perfectionnés, on continue en France à faire emploi de vieilles méthodes lentes et dispendieuses. C'est un état de transition qu'il importe de faire cesser au plus tôt si nous ne voulons pas être devancés par nos voisins. Quand il s'agit de grandes constructions en fer, nous pouvons rivaliser avec ce qui se fait ailleurs, en Europe et en Amérique (1). Mais s'il s'agit de mettre en œuvre, simultané-

(1) Le bâtiment même du Champ-de-Mars en est la preuve.

ment, tous les corps d'état de la bâtisse, le niveau des perfectionnements n'existe pas en France, tandis qu'il est établi en Angleterre et dans une grande partie de l'Allemagne.

§ 4. — Outillage à la main.

L'outillage à la main s'est amélioré à peu près dans une égale proportion, chez les peuples qui ont construit depuis vingt ans; mais, par sa nature même, cet outillage, transmis par les âges antérieurs, se modifie peu. Cependant il est exécuté aujourd'hui avec économie et précision. Pour faciliter le taillage des ravalements, les outils propres à ce travail, tels que le *guillaume*, par exemple, fournissent dans la section française une belle exposition (1). Les outils propres à la charpenterie et à la menuiserie sont maniables et surtout fabriqués avec des aciers d'une excellente qualité. Les rabots anglais et les outils viennois sont particulièrement à mentionner.

Quelques industries du bâtiment nous montrent combien l'intelligence des moyens pratiques se développe en France, lorsqu'elle veut s'affranchir de la routine. La rapidité avec laquelle, depuis quelques années, nos charpentiers savent élever des échafauds à la fois solides et légers; les engins de suspension, employés pour réparer ou nettoyer les façades des édifices à l'extérieur; les dispositions prises pour le montage des grandes pièces, pour le cintrage et le décintrage des voûtes, montrent que nous ne sommes point inférieurs à nos voisins dans l'emploi de ces moyens pratiques. Les échafauds mobiles intérieurs ont été perfectionnés d'une manière très-notable. Nous signalerons, à ce propos, les produits ingénieux d'un exposant français de la classe 65, M. Masbon.

Cet industriel a résolu certains problèmes qui ont leur importance pratique. Ses échelles, ses ponts pliants, légers, à

(1) Voir celle de M. Collot.

travées, avec sous-tendeurs, trouveront leur application en maintes circonstances. Il serait à désirer que les moyens aussi simples qu'ingénieux de M. Masbon, pussent être appliqués à la confection de la plupart des nombreux objets du matériel des chantiers; objets qui ne se sont guère modifiés depuis le commencement du siècle. Que M. Masbon puisse disposer de ressources importantes, et il remplacera bientôt, dans nos bâtiments en construction, dans nos terrassements, ces ponts grossiers formés de sapines, nos lourdes échelles, nos échafauds de boulins, longs à monter et encombrants, dont la pose et la dépose gênent la circulation pendant des journées entières, le brouettage à bras, les grossiers et dangereux moyens d'échafaudage des fumistes et des couvreurs, etc. Déjà, un autre exposant français, M. Harnist, fournit des attaches en fil de fer d'une pose facile pour échafaudages, qui remplacent avec beaucoup d'avantage les cordages employés depuis des siècles pour maintenir les boulins aux échasses, cordages qui pourrissent rapidement et sont la cause de nombreux accidents

Nous aurions désiré voir figurer à l'exposition italienne quelques modèles de ces échafaudages, faits en bois courts, que les constructeurs de la Péninsule et de Rome notamment, établissent avec solidité et une extrême rapidité devant les édifices en construction ou à réparer, sans scellements ni attaches tenant aux bâtisses. Ce système, qui date de l'antiquité, peut, dans nos grandes villes modernes, recevoir des applications nombreuses, car il évite les transports encombrants et une perte de temps considérable.

CHAPITRE II.

CHARPENTERIE, MENUISERIE.

---

§ 1. — Considérations générales.

Il semble que l'art du charpentier ne soit plus destiné qu'à élever des échafauds, des constructions provisoires, et doive être complétement remplacé, dans les constructions durables, par la ferronnerie. D'une part, la difficulté de se procurer des bois longs et d'une bonne qualité, de l'autre l'abaissement du prix des fers ouvrés, ont contribué à introduire ces changements dans les habitudes des constructeurs, en France particulièrement. Dans la structure des maisons élevées dans les grands centres, et même dans les localités secondaires, on n'emploie plus que le fer pour les planchers. Les bois de charpente de chêne, amenés des forêts par les chemins de fer, n'étant plus flottés par conséquent, ne pourraient d'ailleurs être employés, sans danger, enfermés dans des plâtres. Ces bois conservant leur séve, pourrissent très-rapidement, lorsqu'ils ne sont plus à l'air libre. En pareil cas, le sapin est d'un meilleur emploi que le chêne non flotté et qui n'a pas plusieurs années de coupe.

L'Exposition est donc pauvre en modèles de charpente en bois à demeure, applicables aux bâtiments; on doit cependant remarquer le comble du Cercle International, exécuté par M. Bosc; le système de charpente employé, partie en chêne, partie en sapin, enrayé par une ellipse en fer, est ingénieux, d'un montage facile, en ce que les pièces mises en œuvre n'ont pas de très-grandes dimensions, bien que l'espace couvert soit considérable.

§ 2. — Façonnage mécanique.

Les bois de charpente et de menuiserie façonnés à la mécanique prennent cependant une belle place au Champ-de-Mars.

La Prusse, l'Angleterre, l'Autriche, la Bavière, la Russie et la France, la Belgique et la Suisse rivalisent en ce genre d'ouvrages. Depuis les huisseries jusqu'aux parquets, la mécanique s'est décidément emparée de la façon des bois. Les machines à découper, notamment, ont pris une extension considérable et livrent des produits irréprochables à des prix très-bas. Peut-être abuse-t-on un peu de ce procédé pour les décorations des constructions de bois, mais il peut s'appliquer et s'applique à des ouvrages plus utiles. Des maisons entières en bois sont aujourd'hui façonnées à la mécanique, et plusieurs usines emploient des moteurs très-puissants et un grand nombre d'ouvriers. Pour donner une idée de l'importance que cette industrie a prise en France, nous citerons, entre autres, un des industriels, M. Waaser, qui, en 1847, commençait le découpage des bois avec une petite force motrice de deux hommes-vapeur et qui, aujourd'hui, possède un établissement occupant une surface de 5,000 mètres carrés, une force motrice de 50 chevaux-vapeur et fait travailler deux cents ouvriers. Des bois découpés, l'industrie actuelle est arrivée aux menues charpentes sciées et taillées à la mécanique; elle fabrique une maison de bois pendant le temps que l'on met à établir ses fondations.

L'Angleterre et les États d'Allemagne nous avaient précédés dans cette voie, et tout le monde connaît les beaux ouvrages en charpente de la Bavière, tels par exemple que la grande gare de Munich, dont presque tous les bois ont été façonnés à la mécanique il y a plus de seize ans.

L'Angleterre, outre les bois de constructions façonnés à l'aide des machines, présente un grand nombre de menuiseries fines, des persiennes à rouleaux, des portes, etc., travaillées

avec une grande précision et fournies à des prix très-bas par suite de l'emploi exclusif des machines.

L'usine de MM. Schaar et Rehse, à Berlin, a également envoyé des pièces de menuiserie d'une grande dimension pour l'exécution desquelles les machines sont employées. Il faut mentionner aussi la menuiserie viennoise, sortie des ateliers de M. Türen, et notamment les portes et fenêtres en sapin, légères, à bas prix, et d'une excellente exécution. Quant aux parquets, on peut admettre que, dans un délai rapproché, on n'emploiera plus que ceux faits à la mécanique et posés par panneaux.

Pour peu que l'on ait fait construire, on sait les lenteurs et les ennuis que cause la pose des parquets suivant la méthode ordinaire, et combien il arrive fréquemment que les parquets sont défectueux, soit parce que les bois employés ne sont pas secs, soit parce que les parqueteurs ont apporté peu de soin dans la pose. L'Autriche et la Savoie ont commencé à façonner des parquets dont toutes les pièces, coupées à la mécanique avec une grande précision, sont assemblées sur panneaux et posées sans aucune difficulté sur les lambourdes. Cet exemple a été suivi en France, et il existe aujourd'hui des usines qui fabriquent de ces sortes de parquets en grand. Marseille possède depuis longtemps une de ces usines, et chaque jour cette industrie tend à s'accroître au grand avantage des constructions privées, d'autant que ces produits sont d'un emploi peu dispendieux et permettent les décorations les plus riches. Le procédé employé, qui consiste à appliquer des feuilles de bois de diverses qualités sur un fond, en contrariant ainsi les fils de ces bois superposés et réunis par petites parties en tous sens, évite ces retraits si désagréables dans les parquets ordinaires et ce craquement que les feuilles voilées font entendre chaque fois que l'on marche dessus.

§ 3. — Constructions orientales.

L'exposition égyptienne, si intéressante au point de vue de l'art, mérite d'être étudiée dans ses produits de menuiserie. On sait que la plupart des objets de menuiserie faits depuis des siècles, en Orient, consistent (s'il s'agit de portes, de lambris, par exemple) en un fond de bois sur lesquels l'artisan rapporte des moulures assemblées d'onglets suivant certains dessins géométriques et clouées sur ce fond; ce procédé si simple produit des résultats d'un aspect très-agréable et d'un bon emploi ; car tous ces bouts de bois cloués, en tous sens sur un fond, neutralisent les effets de retrait ou de gonflement des planches qui composent ce fond. On peut ainsi fournir des revêtements de bois, des portes, des plafonds à des prix très-bas et d'un aspect très-décoratif. Avec les moyens mécaniques dont nous disposons, cette fabrication, excellente en principe de construction et qui permet des combinaisons à l'infini, pourrait être l'objet d'une industrie sinon nouvelle au moins renouvelée, et qui remplacerait, avec toutes sortes d'avantages, la menuiserie à bon marché prétendant imiter, à l'aide d'expédients, les ouvrages de luxe façonnés pendant les deux derniers siècles. On voit encore, en Espagne, en Sicile, en Afrique et en Asie, quantité de ces plafonds et de ces lambris exécutés pendant les XVe et XVIe siècles, d'une composition charmante, se prêtant merveilleusement à l'application de la peinture et qui conviennent si bien à la décoration des intérieurs. Avec nos moulures en bois poussées à la mécanique, il serait très-aisé d'obtenir des résultats excellents en ce genre et à des prix inférieurs. Nous ne ferions d'ailleurs ainsi que reprendre une industrie qui existait en Occident pendant les XIIIe et XIVe siècles. Nous recommandons aussi les combinaisons orientales de claire-voies en bois tournés que l'Égypte a exposées. Les moyens mécaniques se prêtent singulièrement à l'emploi facile de ces produits solides et d'un aspect agréable.

CHAPITRE III.

SERRURERIE APPLIQUÉE AUX BATIMENTS.

§ 1. — Grandes pièces.

La serrurerie en grandes pièces a décidément remplacé la charpente dans les édifices publics et, en France, dans la plupart des constructions privées. Je dirai quelques mots des procédés employés sur les chantiers pour mettre ces pièces en œuvre. A cet égard, il est encore des perfectionnements à introduire ; les petites forges mobiles françaises sont notoirement insuffisantes, et la manœuvre des fers au moment où on les emploie laisse beaucoup à désirer chez nous, tandis que les forges mobiles anglaises sont remarquablement montées. Il résulte de l'imperfection des engins de chantiers en France, que les pièces de fer qu'il faut retoucher au moment de la pose sont souvent défectueuses. Ce n'est que dans les chantiers de grands travaux de ferronnerie que l'on organise des forges et engins convenables (1) ; dans les constructions privées ces détails essentiels sont négligés. Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention des serruriers constructeurs sur ce point important.

Les pièces d'assemblages à faire au moment de la pose, le travail nécessaire pour compléter le montage, manquent de cette puissance et de cette sûreté de moyens que nous trouvons dans les ateliers fixes. Plus la grande ferronnerie perfectionnera ses produits, mieux elle se rendra compte des forces exactes des matériaux employés, et moins elle devra se contenter d'*à peu près*.

(1) On doit citer comme très-ingénieux les systèmes de montages adoptés à l'Exposition de 1867 pour élever et poser la grande serrurerie du palais.

Il faut songer définitivement à laisser de côté les vieux engins et ne plus considérer la main de l'homme, dans les travaux de bâtiment, que comme une transmission de l'intelligence à des forces automatiques auxquelles doit être dévolue la puissance brutale, le labeur matériel. Les forces mécaniques sont seules pourvues de l'énergie propre à façonner les fers que l'on emploie dans les constructions aujourd'hui, avec précision, économie et rapidité ; c'est donc à elles qu'il convient de recourir en ne considérant plus la main de l'ouvrier que comme l'agent intellectuel dirigeant, non comme une force matérielle, car celle-ci est évidemment insuffisante. Ce sont là des questions de frais d'établissement devant lesquels nos industriels de bâtiment reculent encore parfois. Les rabais excessifs dans les adjudications les obligent à économiser sur ces frais, et au total, ni eux, ni le travail, ni les ouvriers ne gagnent à l'ajournement des moyens mécaniques nécessaires aussi bien sur les chantiers que dans les ateliers.

§ 2. — Progrès récents de la ferronnerie.

Ce n'est pas l'intelligence de ces moyens qui fait défaut. On pourrait en fournir plus d'une preuve. Peut-être même est-ce à la facilité avec laquelle, en France, l'ouvrier sait se *débrouiller* (pour nous servir d'une expression de chantier) que l'on doit d'ajourner trop longtemps l'organisation des travaux de serrurerie sur le tâs comme dans l'atelier. Il faut cependant reconnaître que nos constructions de ferronnerie françaises ont une supériorité marquée sur les ouvrages analogues exécutés en Angleterre. En principe, les constructeurs français ont presque entièrement renoncé aux fontes de fer dans la construction des combles et planchers, tandis que, en Angleterre, malgré des sinistres très-graves, on continue à se servir des fontes pour ces sortes d'ouvrages. Nous n'employons plus les fontes que comme supports résistants, comme revêtements, comme poinçons parfois, mais les tôles avec cornières et les

fers à T ont, chez nous, remplacé la fonte, aussi bien dans les bâtiments que dans les entreprises du génie civil. A peine si, en 1855, on employait les tôles dans les constructions, en France, tandis que l'Angleterre les utilisait déjà ; mais, depuis lors, les progrès ont été très-rapides de ce côté-ci de la Manche, tandis que la fabrication anglaise est restée presque stationnaire. Peut-être doit-on ce développement au nombre prodigieux d'édifices qui ont été élevés sur toute la surface de la France depuis douze ans, et principalement à la construction des marchés publics et des grandes gares dans la plupart des centres populeux. N'oublions pas, cependant, que les premiers ouvrages de ferronnerie forgée appliqués aux bâtiments civils ont été exécutés en France dès la fin du dernier siècle (1), et que nous avons eu dans tous les temps une aptitude particulière pour les ouvrages de fer façonnés au marteau.

Nos planchers en fers à T pour toutes les habitations présentent des avantages considérables : légèreté, faible épaisseur (ce qui est important dans les villes où la hauteur des habitations est fixée), chances d'incendie supprimées, salubrité et solidité. Si la sonorité des planchers en fer est encore un de ces inconvénients auxquels il est indispensable d'apporter un remède efficace, plusieurs exposants français ont essayé de résoudre le problème, et, s'ils n'y sont pas parvenus d'une manière absolue, au moins sont-ils sur la voie. Les entrevous cellulaires en plâtre, ceux en poteries creuses chevauchées ou en briques de ciments avec des vides, sont déjà préférable aux entrevous ordinaires en plâtras et plâtre coulé. Les nouveaux procédés ont encore l'avantage d'éviter la poussée et de permettre d'économiser les entretoises et les fantons entre les solives en fer à T.

Les ateliers de serruriers français sont généralement montés de telle sorte qu'ils peuvent aujourd'hui façonner de grandes pièces en tôle avec cornières rivées à des prix abordables.

(1) Le comble du Théâtre-Français a été exécuté en fer forgé, sous la direction de l'architecte Louis (1786-1790).

Les halles centrales, tous les marchés publics dernièrement installés à Paris, le bâtiment même du Champ-de-Mars en fournissent la preuve. Il faut constater aussi l'intelligence rare des chefs de ces ateliers ; ils savent introduire, sur les projets remis entre leurs mains, des perfectionnements dans les détails de l'exécution, qui montrent combien la pratique de ces grands travaux leur est devenue familière, combien ils se préocupent de trouver les moyens d'économiser la matière tout en conservant une solidité complète. A ces divers points de vue, les ateliers de M. Joly, ceux de M. Rigolet, ont envoyé à l'Exposition des ouvrages parfaitement entendus comme exécution, indépendamment du mérite de la composition. Les grands combles du palais des Tuileries, exécutés par M. Roussel, ceux du château de Pierrefonds, sortis des ateliers de M. Lachambre, peuvent passer pour des ouvrages de bâtiments d'une importance majeure dans cette industrie des tôles employées comme charpentes.

§ 3. — Tôles embouties.

Nous croyons utile d'appeler l'attention de nos constructeurs sur l'emploi des tôles embouties pour planchers, système adopté avec succès en Angleterre, notamment par M. Robert Mallet, qui a envoyé quelques échantillons de ces produits au Palais du Champ-de-Mars. On peut évidemment tirer un parti excellent de ce système pour les voûtes de grandes salles et même pour des planchers. C'est un moyen de ne pas dissimuler la structure du fer et qui permet d'entrer dans la voie de l'emploi décoratif de cette matière. Nous ne pouvons admettre, en effet, que le fer doive être dissimulé dans les constructions de quelque importance par des revêtements de plâtre, de stuc ou de bois. Le fer, dont l'emploi devient de plus en plus fréquent, adoptera des formes qui seront l'expression de ses qualités. On doit chercher ces formes convenables et les trouver, en laissant de côté les apparences traditionnelles données à des matières d'une nature différente, et on ne

saurait admettre que le fer ne puisse montrer les formes qui lui conviennent que dans des gares ou des hangars. Les Anglais ont essayé, pour la fonte, de trouver des formes d'art en rapport avec les qualités du métal : leurs essais ont été parfois heureux ; or, le fer forgé doit aussi manifester ses qualités par des formes en rapport avec elles. C'est à nos ingénieurs et à nos architectes d'ailleurs que ces observations pourraient être adressées, car les ateliers sont aujourd'hui en état de fournir une exécution assez belle pour qu'il n'y ait pas lieu d'en dissimuler les détails, du moment que ces détails auront été habilement composés.

§ 4. — Fonte de fer.

Bien que la fonte de fer donne aujourd'hui des produits d'une pureté remarquable, on ne saurait admettre que cette matière soit destinée à simuler les formes qu'affectent la pierre, le bois ou même le plomb repoussé. On eût désiré voir à l'Exposition des détails de construction en fonte de fer qui auraient présenté ces formes propres à la nature du métal; les lucarnes de comble qui sont exposées, par exemple, dans la section française, semblent moulées sur des lucarnes en bois ou même en pierre. Indépendamment des qualités et perfections de la fonte, ce serait, semble-t-il, à trouver ces formes que les industriels devraient tendre aujourd'hui. Sous ce rapport, les produits d'Angleterre et de Prusse sont plus près des règles du vrai, dont on ne saurait s'éloigner sans tomber dans les plus étranges abus. L'escalier, composé de pièces de fonte assemblées de M. Krause, de Neusalz (Prusse), avec noyau en fer, remplit assez exactement les conditions imposées par la nature du métal. Les assemblages sont simplement entendus, et si cet escalier est d'un prix élevé, cela tient à des détails excessifs d'ornementation qui n'ajoutent rien d'ailleurs au mérite réel des combinaisons de la construction de cette pièce.

CHAPITRE IV.

COUVERTURE ET PLOMBERIE.

§ 1. — Couvertures.

Parmi les industries de bâtiment qui ont fait le plus de progrès depuis l'Exposition de 1855, il faut citer celles du couvreur et du plombier. En Angleterre, en France, en Prusse, en Autriche, les couvertures des bâtiments publics et privés sont mieux faites, moins chères et plus durables que celles que l'on faisait il y a vingt ans.

La zinguerie étampée, le plomb et le cuivre repoussés, sont des industries nouvelles ou renouvelées avec succès. La tuilerie, grâce aux agents mécaniques, a atteint une perfection inconnue jusqu'à nos jours. Les ardoisières, exploitées à l'aide de moyens puissants fournis par les moteurs à vapeur, envoient des produits excellents par leur régularité et leur dimension, d'Angleterre, de Belgique, de France, de Prusse.

Remplaçant les combles en bois par des charpentes en fer sur presque tous les bâtiments en France et en Angleterre, il fallait trouver le moyen d'éviter l'interposition du bois entre le fer et la couverture même; outre qu'il est toujours difficile d'attacher de la volige ou de la latte en bois à des chevrons en fer, il y avait par suite de cette interposition quelque chose d'illogique dans l'emploi des matériaux. L'adoption des lattes en fer pour poser l'ardoise directement à l'aide de crochets est donc une solution dont il faut tenir compte à un entrepreneur de serrurerie, M. Lachambre, car son système de lattis en fer étiré nous paraît avoir une supériorité marquée sur les lattis en tôle employés parfois. Ce lattis en fer permet également la pose de la tuile à crochets directement sur les combles en fer.

Le système de couverture en zinc sur charpente en fer es encore à trouver; la superposition du zinc directement sur l fer produit une action galvanique qui détruit promptement l couverture métallique. On continue donc à interposer de l volige entre le fer et le zinc pour éviter cet effet; encor faut-il avoir le soin de ne point laisser les têtes de clou toucher le zinc. Bien que la fabrication des zincs employé pour couvertures ait fait des progrès très-notables et dont o peut apprécier toute l'importance dans les expositions fran çaise et prussienne, cependant les entrepreneurs de couvertur ne semblent pas s'être encore préoccupés sérieusement de destruction du métal recouvrant, par les matières sous-ja centes, destruction souvent très-rapide. L'interposition d feutres et des cartons bitumés entre la volige, le plâtre, le f et le zinc, arrête il est vrai ces effets destructeurs; mais il a là une cause de dépenses assez notable; puis ces feutres cartons n'ont eux-mêmes qu'une durée assez limitée.

Nous avons vainement cherché, parmi les exposants de cou vertures métalliques à l'Exposition, l'emploi de procédés pro pres à empêcher l'oxydation des plombs posés directement su du bois. On sait que la plupart des bois de chêne qui n'ont p encore séjourné dans l'eau et qui n'ont pas été purgés d leur séve, transforment très-promptement les plombs mis e contact avec eux (malgré plusieurs couches de peinture en oxyde blanc de plomb, autrement dit blanc de céruse, à point que ces plombs sont à remplacer après quelques mo de séjour sur ces bois. L'interposition des feutres, seule, ar rête cet effet; mais, nous le repétons, c'est là une augmentatio sensible dans la dépense. Quelques couvreurs plombiers o pris le parti, parfois (1), de poser les plombs ouvrés indépe dants des bois qu'ils sont censés recouvrir. C'est éviter la di ficulté, non la résoudre, d'autant que ces plombs ainsi façonn sur armatures spéciales, renforcées à l'intérieur par d'épaiss

(1) MM. Monduit et Béchet, entre autres.

couches de soudure, reviennent à des prix exorbitants. C'est mentir au principe de la couverture en plomb, destinée à revêtir des ouvrages en bois. Dans ce cas, mieux vaut employer le cuivre repoussé qui est plus léger, et, par le fait, malgré la valeur du métal, revient moins cher, parce qu'il se soutient de lui-même, étant battu au marteau, avec une épaisseur très-minime. Le cuivre repoussé peut d'ailleurs être posé directement sur les armatures en fer à cause de sa rigidité.

L'exposition française montre des tentatives déjà importantes faites en ce genre de fabrication (1).

§ 2. — Zinc.

Tout en constatant les progrès faits dans la fabrication des zincs façonnés destinés aux couvertures et exposés au Champ-de-Mars, nous pensons que cette fabrication ne suit pas la ligne qui convient à ce genre de couverture. Le zinc, très-sensible aux variations de la température, se comporte mal, lorsque les soudures sont multipliées, et nous ne voyons pas que des exposants couvreurs-zingueurs, aient montré des ouvrages dans lesquels les conditions de retrait et de dilatation soient suffisamment étudiées. Les grands ouvrages en zinc exposés en France, en Prusse, en Autriche, dans les Pays-Bas, indiquent certainement des résultats remarquables dans l'art d'étamper à chaud, d'assembler et de souder ce métal ; mais la plupart des objets exposés ne sont point exécutés en raison des qualités de la matière employée. Ce sont des œuvres difficiles à obtenir, sans contredit ; elles indiquent une fabrication avancée, mais qui pèche par son principe même et par le côté pratique. A la place de ces objets décoratifs, mais peu usuels, et certainement d'une durée très-limitée, lorsqu'ils sont exposés aux intempéries, nous eussions préféré voir quelque bon système

(1) MM. Monduit et Béchet, qui ont pris la maison fondée par M. Durand, dès 1848, fabriquent aujourd'hui un assez grand nombre d'ornements de couvertures en cuivre, depuis les premiers essais faits à la cathédrale de Paris.

avec une grande précision et fournies à des prix très-bas par suite de l'emploi exclusif des machines.

L'usine de MM. Schaar et Rehse, à Berlin, a également envoyé des pièces de menuiserie d'une grande dimension pour l'exécution desquelles les machines sont employées. Il faut mentionner aussi la menuiserie viennoise, sortie des ateliers de M. Türen, et notamment les portes et fenêtres en sapin, légères, à bas prix, et d'une excellente exécution. Quant aux parquets, on peut admettre que, dans un délai rapproché, on n'emploiera plus que ceux faits à la mécanique et posés par panneaux.

Pour peu que l'on ait fait construire, on sait les lenteurs et les ennuis que cause la pose des parquets suivant la méthode ordinaire, et combien il arrive fréquemment que les parquets sont défectueux, soit parce que les bois employés ne sont pas secs, soit parce que les parqueteurs ont apporté peu de soin dans la pose. L'Autriche et la Savoie ont commencé à façonner des parquets dont toutes les pièces, coupées à la mécanique avec une grande précision, sont assemblées sur panneaux et posées sans aucune difficulté sur les lambourdes. Cet exemple a été suivi en France, et il existe aujourd'hui des usines qui fabriquent de ces sortes de parquets en grand. Marseille possède depuis longtemps une de ces usines, et chaque jour cette industrie tend à s'accroître au grand avantage des constructions privées, d'autant que ces produits sont d'un emploi peu dispendieux et permettent les décorations les plus riches. Le procédé employé, qui consiste à appliquer des feuilles de bois de diverses qualités sur un fond, en contrariant ainsi les fils de ces bois superposés et réunis par petites parties en tous sens, évite ces retraits si désagréables dans les parquets ordinaires et ce craquement que les feuilles voilées font entendre chaque fois que l'on marche dessus.

§ 3. — Constructions orientales.

L'exposition égyptienne, si intéressante au point de vue de l'art, mérite d'être étudiée dans ses produits de menuiserie. On sait que la plupart des objets de menuiserie faits depuis des siècles, en Orient, consistent (s'il s'agit de portes, de lambris, par exemple) en un fond de bois sur lesquels l'artisan rapporte des moulures assemblées d'onglets suivant certains dessins géométriques et clouées sur ce fond; ce procédé si simple produit des résultats d'un aspect très-agréable et d'un bon emploi ; car tous ces bouts de bois cloués, en tous sens sur un fond, neutralisent les effets de retrait ou de gonflement des planches qui composent ce fond. On peut ainsi fournir des revêtements de bois, des portes, des plafonds à des prix très-bas et d'un aspect très-décoratif. Avec les moyens mécaniques dont nous disposons, cette fabrication, excellente en principe de construction et qui permet des combinaisons à l'infini, pourrait être l'objet d'une industrie sinon nouvelle au moins renouvelée, et qui remplacerait, avec toutes sortes d'avantages, la menuiserie à bon marché prétendant imiter, à l'aide d'expédients, les ouvrages de luxe façonnés pendant les deux derniers siècles. On voit encore, en Espagne, en Sicile, en Afrique et en Asie, quantité de ces plafonds et de ces lambris exécutés pendant les XVe et XVIe siècles, d'une composition charmante, se prêtant merveilleusement à l'application de la peinture et qui conviennent si bien à la décoration des intérieurs. Avec nos moulures en bois poussées à la mécanique, il serait très-aisé d'obtenir des résultats excellents en ce genre et à des prix inférieurs. Nous ne ferions d'ailleurs ainsi que reprendre une industrie qui existait en Occident pendant les XIIIe et XIVe siècles. Nous recommandons aussi les combinaisons orientales de claire-voies en bois tournés que l'Égypte a exposées. Les moyens mécaniques se prêtent singulièrement à l'emploi facile de ces produits solides et d'un aspect agréable.

CHAPITRE III.

SERRURERIE APPLIQUÉE AUX BATIMENTS.

§ 1. — Grandes pièces.

La serrurerie en grandes pièces a décidément remplacé la charpente dans les édifices publics et, en France, dans la plupart des constructions privées. Je dirai quelques mots des procédés employés sur les chantiers pour mettre ces pièces en œuvre. A cet égard, il est encore des perfectionnements à introduire; les petites forges mobiles françaises sont notoirement insuffisantes, et la manœuvre des fers au moment où on les emploie laisse beaucoup à désirer chez nous, tandis que les forges mobiles anglaises sont remarquablement montées. Il résulte de l'imperfection des engins de chantiers en France, que les pièces de fer qu'il faut retoucher au moment de la pose sont souvent défectueuses. Ce n'est que dans les chantiers de grands travaux de ferronnerie que l'on organise des forges et engins convenables (1); dans les constructions privées ces détails essentiels sont négligés. Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention des serruriers constructeurs sur ce point important.

Les pièces d'assemblages à faire au moment de la pose, le travail nécessaire pour compléter le montage, manquent de cette puissance et de cette sûreté de moyens que nous trouvons dans les ateliers fixes. Plus la grande ferronnerie perfectionnera ses produits, mieux elle se rendra compte des forces exactes des matériaux employés, et moins elle devra se contenter d'*à peu près*.

(1) On doit citer comme très-ingénieux les systèmes de montages adoptés à l'Exposition de 1867 pour élever et poser la grande serrurerie du palais.

blancs qu'il faut en été couvrir par des toiles ou des clayonnages. Leur épaisseur ajoute de la force aux armatures en fer qui les reçoivent en les étrésillonnant solidement.

CHAPITRE VI.

SERRURERIE FINE, COFFRES-FORTS, SERRURES, QUINCAILLERIE.

---

§ 1. — Serrurerie décorative.

La serrurerie décorative forgée a été perfectionnée d'une manière remarquable depuis les dernières Expositions, et les produits français présentent en ce genre une nombreuse et intéressante série d'objets. L'emploi presque exclusif de la fonte de fer pour les grilles, balcons, les rampes d'escaliers, de 1825 à 1845, avait fait abandonner par les serruriers les ouvrages de forge ; dans les grandes villes on ne trouvait plus de forgerons que parmi les maréchaux ferrants.

Deux causes ont fait revivre cette belle industrie des fers forgés, si florissante autrefois: la fabrication des machines et les études faites sur les industries anciennes.

L'Exposition rétrospective, si judicieusement installée au cœur du palais du Champ de Mars et si fort appréciée du public, fait assez connaître qu'il serait malséant de reléguer parmi les esprits rétrogrades les artistes ou industriels qui se sont voués à l'étude des anciennes fabrications d'objets propres aux bâtiments

La plupart de ceux qui voudraient faire prendre le change à l'opinion publique à cet égard, trouvant bon d'employer les produits de ces industries renouvelées, il convient, nous semble-t-il, à l'occasion de l'Exposition Universelle, et en présence des produits des industries anciennes, de rendre justice : 1° à ceux qui, par leurs études, par un labeur aride, ont provoqué cette renaissance d'arts

fers à T ont, chez nous, remplacé la fonte, aussi bien dans les bâtiments que dans les entreprises du génie civil. A peine si, en 1855, on employait les tôles dans les constructions, en France, tandis que l'Angleterre les utilisait déjà ; mais, depuis lors, les progrès ont été très-rapides de ce côté-ci de la Manche, tandis que la fabrication anglaise est restée presque stationnaire. Peut-être doit-on ce développement au nombre prodigieux d'édifices qui ont été élevés sur toute la surface de la France depuis douze ans, et principalement à la construction des marchés publics et des grandes gares dans la plupart des centres populeux. N'oublions pas, cependant, que les premiers ouvrages de ferronnerie forgée appliqués aux bâtiments civils ont été exécutés en France dès la fin du dernier siècle (1), et que nous avons eu dans tous les temps une aptitude particulière pour les ouvrages de fer façonnés au marteau.

Nos planchers en fers à T pour toutes les habitations présentent des avantages considérables : légèreté, faible épaisseur (ce qui est important dans les villes où la hauteur des habitations est fixée), chances d'incendie supprimées, salubrité et solidité. Si la sonorité des planchers en fer est encore un de ces inconvénients auxquels il est indispensable d'apporter un remède efficace, plusieurs exposants français ont essayé de résoudre le problème, et, s'ils n'y sont pas parvenus d'une manière absolue, au moins sont-ils sur la voie. Les entrevous cellulaires en plâtre, ceux en poteries creuses chevauchées ou en briques de ciments avec des vides, sont déjà préférable aux entrevous ordinaires en plâtras et plâtre coulé. Les nouveaux procédés ont encore l'avantage d'éviter la poussée et de permettre d'économiser les entretoises et les fantons entre les solives en fer à T.

Les ateliers de serruriers français sont généralement montés de telle sorte qu'ils peuvent aujourd'hui façonner de grandes pièces en tôle avec cornières rivées à des prix abordables.

(1) Le comble du Théâtre-Français a été exécuté en fer forgé, sous la direction de l'architecte Louis (1786-1790).

Les halles centrales, tous les marchés publics dernièrement installés à Paris, le bâtiment même du Champ-de-Mars en fournissent la preuve. Il faut constater aussi l'intelligence rare des chefs de ces ateliers ; ils savent introduire, sur les projets remis entre leurs mains, des perfectionnements dans les détails de l'exécution, qui montrent combien la pratique de ces grands travaux leur est devenue familière, combien ils se préocupent de trouver les moyens d'économiser la matière tout en conservant une solidité complète. A ces divers points de vue, les ateliers de M. Joly, ceux de M. Rigolet, ont envoyé à l'Exposition des ouvrages parfaitement entendus comme exécution, indépendamment du mérite de la composition. Les grands combles du palais des Tuileries, exécutés par M. Roussel, ceux du château de Pierrefonds, sortis des ateliers de M. Lachambre, peuvent passer pour des ouvrages de bâtiments d'une importance majeure dans cette industrie des tôles employées comme charpentes.

§ 3. — Tôles embouties.

Nous croyons utile d'appeler l'attention de nos constructeurs sur l'emploi des tôles embouties pour planchers, système adopté avec succès en Angleterre, notamment par M. Robert Mallet, qui a envoyé quelques échantillons de ces produits au Palais du Champ-de-Mars. On peut évidemment tirer un parti excellent de ce système pour les voûtes de grandes salles et même pour des planchers. C'est un moyen de ne pas dissimuler la structure du fer et qui permet d'entrer dans la voie de l'emploi décoratif de cette matière. Nous ne pouvons admettre, en effet, que le fer doive être dissimulé dans les constructions de quelque importance par des revêtements de plâtre, de stuc ou de bois. Le fer, dont l'emploi devient de plus en plus fréquent, adoptera des formes qui seront l'expression de ses qualités. On doit chercher ces formes convenables et les trouver, en laissant de côté les apparences traditionnelles données à des matières d'une nature différente, et on ne

ce genre et peuvent fournir des balcons, des grilles à des prix qui ne dépassent pas ceux de la fonte, si largement employée encore il y a dix ans.

L'industrie des tôles repoussées, remise en honneur également, tend à se répandre et permet une grande variété dans la décoration de la ferronnerie. Une petite usine, montée par Mme Delong, découpe aujourd'hui des feuilles de tôle et même d'acier avec une promptitude et une pureté fort appréciées par les serruriers, qui déjà ont recours à cette industrie naissante.

§ 2. — Coffres-forts.

S'il est un objet qui indique le développement de la richesse publique et privée, c'est certainement le coffre-fort. L'Exposition de 1867 abonde en caisses de sûreté des plus ingénieusement combinées. L'Angleterre, les États-Unis, la France, la Belgique, la Prusse, l'Autriche, la Suisse ont envoyé au Champ-de-Mars une quantité prodigieuse de ces gardiens des trésors publics et particuliers. On peut même, en examinant les combinaisons diverses qu'ils adoptent, prendre une idée des habitudes des voleurs de chaque pays. Aux États-Unis, les coffres-forts se gardent contre l'explosion, c'est-à-dire contre les pétards que les voleurs cherchent à introduire dans les serrures pour les faire sauter, moyen expéditif et pratiqué, paraîtrait-il, avec beaucoup d'adresse. En Angleterre, c'est aux cornières, aux assemblages que les voleurs s'attaquent, en dédaignant les serrures ; aussi les coffres-forts anglais cherchent-ils à rendre leurs assemblages inattaquables et à si bien multiplier les pênes qu'on ne puisse espérer faire une pesée entre eux. En Prusse, en Autriche et en Suisse, c'est au contraire par les combinaisons de clefs et de serrures que l'on prétend se garantir contre les tentatives de vol. En France, il semblerait aussi que les voleurs emploient plutôt l'adresse que la force pour ouvrir ces caisses de sûreté, à voir les précautions infinies et les subtilités que les fabricants apportent dans

la composition des moyens de fermeture. Toutes ces caisses sont bien installées et mettent leur contenu à l'abri des incendies par divers moyens, tels que des briques entre les plaques de tôle, des courants d'air, ou une couche de ciment, ou des matières réfractaires ou même développant de l'humidité quand elles sont fortement chauffées. A puissances égales, les coffres-forts de l'exposition anglaise sont ceux que les fabricants peuvent livrer aux prix les moins élevés. S'ils n'ont pas la même élégance que ceux que livrent les serruriers français; si leurs systèmes de serrures sont moins ingénieux, moins compliqués, exécutés avec moins de perfection, leur force de résistance est sans égale. Il faut citer, entre autres, les coffres de M. Hobbs, dont les plaques de tôle, d'une épaisseur considérable, passent leurs queues-d'arondes d'assemblage à travers des colonnes cylindriques en fer, dans lesquelles (pour retenir ces queues-d'arondes des plaques) on coule de la fonte. Une double clef fait tomber des plaques en fer qui rendent immobiles les nombreux et larges pênes qui sortent des quatres rives du vantail pour s'engager dans les gâches. Le même fabricant fournit des serrures pour cellules de prison d'une grande force, quoique très-simples, qui ne coûtent que 12 schell. 10 p. Nous citerons encore le système de pênes de caisses de sûreté de M. Chatwood, pênes qui sont taillés à queue-d'aronde et manœuvrent horizontalement et verticalement. Les coffres de M. Chatwood sont munis de plaques d'acier qui neutralisent entièrement les efforts du ciseau à froid. Les caisses de M. Chubb se ferment au moyen de pênes qui manœuvrent diagonalement à l'aide d'excentriques, et qui ne laissent point d'intervalles dans les angles entre le vantail et la feuillure; il paraîtrait donc que les voleurs anglais font agir les pesées dans ces angles comme étant les points faibles.

En France, les fabricants de caisses de sûreté ont généralement adopté un système qui évite les assemblages de tôle dans les angles. La plupart de ces caisses sont prises dans un morceau de tôle qui fait le devant, les côtés et vient se river par

derrière; leur puissance de résistance consiste moins dans l'épaisseur des pièces que dans les combinaisons des serrures, les mouvements de leurs pênes et la précision de l'exécution. L'exposition française est particulièrement riche en produits de serrurerie fine, et les coffres-forts s'y trouvent en grand nombre. D'anciennes maisons, comme celle de M. Fichet, ont encore perfectionné leurs produits bien connus; les coffres-forts qui ferment tous leurs compartiments, tiroirs et vantail extérieur, d'un seul tour de clef, sans compter les sûretés et combinaisons qui rendent le vantail inforçable, sont des ouvrages très-remarquablement exécutés.

Le système des pênes crochetants et callés par des seconds pênes de M. Huby présente des avantages considérables sur les pênes à simple mouvement. On remarque aussi les coffres-forts en tôle, d'une très-forte épaisseur, à deux vantaux, avec pênes cylindriques se contrariant, vantaux roulants au moyen de cols-de-cygne, avec feuillure et contre-feuillure propres à éviter les pesées, de la fabrique de M. Haffner, ainsi que les caisses en fonte blanche, coulée entre les deux parois intérieure et extérieure de la même maison. Un autre fabricant, M. Le Paul, empêche la communication de la chaleur dans ses caisses au moyen de matelas d'amiante, qu'il se procure à un prix très-bas. Mentionnons aussi les coffres-forts et serrures de MM. Parigot et Grivel, avec pênes circulaires formant crampons; les caisses de M. Parigot, avec combinaisons à pivots verticaux et clef faisant l'office de compteur; le système des feuillures, rentrant par le moyen de ressorts et des pênes cylindriques rappelants, de la maison de M. l'Hermitte.

Un fabricant autrichien, M. Vertein, rivalise avec les meilleurs fabricants de serrurerie. Ses coffres-forts avec vantail, s'ouvrant par la poignée, et clefs agissant par pression sur des herses, avec délateur; ses serrures à gorge donnent d'excellents résultats. De plus, ce fabricant produit à des prix relativement inférieurs à la plupart de ceux demandés par les autres exposants au palais du Champ-de-Mars.

§ 3. — Inventions mécaniques.

La section de la serrurerie est particulièrement riche en produits ingénieux et qui font connaître combien les connaissances en mécanique tendent à se répandre dans les industries appliquées aux bâtiments. La somme de recherches et de travail que donne cette exposition est considérable, et il serait difficile de décrire une à une toutes les inventions introduites, par exemple, dans la fabrication des serrures pour les rendre inforçables et pouvoir les fournir à des prix modérés. La serrure à gorges mobiles a particulièrement été développée par les fabricants anglais, autrichiens et français. Cependant, parmi tous les produits de ce genre exposés, l'attention doit se fixer plus spécialement sur ceux dont l'emploi est pratique et la fabrication simple. A ce point de vue, les produits anglais conservent toujours des conditions favorables au commerce et à l'exportation, ce qui est le point important. Il n'en faut pas moins signaler les efforts d'un grand nombre de nos serruriers qui cherchent sans cesse des combinaisons ingénieuses, et qui sont ainsi les pionniers de cette belle et grande industrie. Les serrures à gorges mobiles sont certainement celles qui présentent le plus de garanties de sûreté, relativement au prix de fabrication ; mais la serrure à gorges est crochetable ; c'est par des garnitures mobiles, qui n'agissent que sous l'effort de la clef spéciale, par des gorges agissant en sens inverse, par des délateurs empêchant le mouvement des gorges, si dans la serrure on introduit une fausse clef, que les serruriers cherchent à rendre les serrures incrochetables. Toutes ces tentatives, toutes ces recherches sont précieuses, et font évidemment faire des progrès à cette industrie. Parmi les chercheurs de solutions, nous citerons MM. Fraigneux frères, à Liége ; Torriani, à Mendriso (Suisse) ; Haffner (Pierre), qui fournit des serrures combinées d'une manière très-ingénieuse à des prix bas ; Yvernel, Fayet Baron, qui n'a cessé, depuis 1849, d'apporter des perfectionnements et des modifications

derrière; leur puissance de résistance consiste moins dans l'épaisseur des pièces que dans les combinaisons des serrures, les mouvements de leurs pênes et la précision de l'exécution. L'exposition française est particulièrement riche en produits de serrurerie fine, et les coffres-forts s'y trouvent en grand nombre. D'anciennes maisons, comme celle de M. Fichet, ont encore perfectionné leurs produits bien connus; les coffres-forts qui ferment tous leurs compartiments, tiroirs et vantail extérieur, d'un seul tour de clef, sans compter les sûretés et combinaisons qui rendent le vantail inforçable, sont des ouvrages très-remarquablement exécutés.

Le système des pênes crochetants et callés par des seconds pênes de M. Huby présente des avantages considérables sur les pênes à simple mouvement. On remarque aussi les coffres-forts en tôle, d'une très-forte épaisseur, à deux vantaux, avec pênes cylindriques se contrariant, vantaux roulants au moyen de cols-de-cygne, avec feuillure et contre-feuillure propres à éviter les pesées, de la fabrique de M. Haffner, ainsi que les caisses en fonte blanche, coulée entre les deux parois intérieure et extérieure de la même maison. Un autre fabricant, M. Le Paul, empêche la communication de la chaleur dans ses caisses au moyen de matelas d'amiante, qu'il se procure à un prix très-bas. Mentionnons aussi les coffres-forts et serrures de MM. Parigot et Grivel, avec pênes circulaires formant crampons; les caisses de M. Parigot, avec combinaisons à pivots verticaux et clef faisant l'office de compteur; le système des feuillures, rentrant par le moyen de ressorts et des pênes cylindriques rappelants, de la maison de M. l'Hermitte.

Un fabricant autrichien, M. Vertein, rivalise avec les meilleurs fabricants de serrurerie. Ses coffres-forts avec vantail, s'ouvrant par la poignée, et clefs agissant par pression sur des herses, avec délateur; ses serrures à gorge donnent d'excellents résultats. De plus, ce fabricant produit à des prix relativement inférieurs à la plupart de ceux demandés par les autres exposants au palais du Champ-de-Mars.

§ 3. — Inventions mécaniques.

La section de la serrurerie est particulièrement riche en produits ingénieux et qui font connaître combien les connaissances en mécanique tendent à se répandre dans les industries appliquées aux bâtiments. La somme de recherches et de travail que donne cette exposition est considérable, et il serait difficile de décrire une à une toutes les inventions introduites, par exemple, dans la fabrication des serrures pour les rendre inforçables et pouvoir les fournir à des prix modérés. La serrure à gorges mobiles a particulièrement été développée par les fabricants anglais, autrichiens et français. Cependant, parmi tous les produits de ce genre exposés, l'attention doit se fixer plus spécialement sur ceux dont l'emploi est pratique et la fabrication simple. A ce point de vue, les produits anglais conservent toujours des conditions favorables au commerce et à l'exportation, ce qui est le point important. Il n'en faut pas moins signaler les efforts d'un grand nombre de nos serruriers qui cherchent sans cesse des combinaisons ingénieuses, et qui sont ainsi les pionniers de cette belle et grande industrie. Les serrures à gorges mobiles sont certainement celles qui présentent le plus de garanties de sûreté, relativement au prix de fabrication ; mais la serrure à gorges est crochetable ; c'est par des garnitures mobiles, qui n'agissent que sous l'effort de la clef spéciale, par des gorges agissant en sens inverse, par des délateurs empêchant le mouvement des gorges, si dans la serrure on introduit une fausse clef, que les serruriers cherchent à rendre les serrures incrochetables. Toutes ces tentatives, toutes ces recherches sont précieuses, et font évidemment faire des progrès à cette industrie. Parmi les chercheurs de solutions, nous citerons MM. Fraigneux frères, à Liége ; Torriani, à Mendriso (Suisse) ; Haffner (Pierre), qui fournit des serrures combinées d'une manière très-ingénieuse à des prix bas ; Yvernel, Fayet Baron, qui n'a cessé, depuis 1849, d'apporter des perfectionnements et des modifications

dans la fabrication des serrures incrochetables ; Le Paul, si connu par son système de serrures à pompe; Arnaud, dont les serrures chassent la gâche sous la pression du pêne ; Parigot et Grivel, inventeurs de nouvelles serrures dont les gorges ne peuvent être mues par une fausse clé, etc.

§ 4. — Quincaillerie.

Il faut reconnaître que pour nos articles bon marché, nos maisons de Picardie et de Saint-Étienne fabriquent de la quincaillerie égale, en qualité au moins, à celle que fournissent l'Angleterre et l'Allemagne.

Les fabriques Bricard et Gautier, Maquennehen, de Pouilly, Guerville, Fournier-Valery, Liéven-Davergne, livrent en serrurerie des produits d'une bonne qualité, à des prix qu'il semblait impossible d'atteindre il y a quelques années; et cela grâce aux machines et à la division bien réglée du travail. L'exportation de ces produits a acquis une grande importance, et devient une des sources de richesses du pays. On peut avoir aujourd'hui de bonnes serrures à gorge pour 6 et 7 francs et même pour 3 fr. 25 c., toutes les pièces des serrures étant découpées à la mécanique. Il en est de même des objets de serrurerie, tels que paumelles, charnières, verroux, cadenas, targettes; l'exposition française, entre toutes, montre une variété prodigieuse de ces objets qui, malgré leur prix peu élevé, sont d'une bonne qualité, et présentent surtout cette régularité d'exécution qu'il était impossible d'obtenir par le travail à la main dans un pays comme le nôtre, où les ouvriers s'astreignent difficilement à un travail régulier. Il y a donc lieu d'espérer que la fabrication mécanique et la division du travail, donnant des pièces d'une égalité complète, permettront à l'exportation de la serrurerie de se maintenir et même de s'accroître en France. Il semble, en effet, que sous ce rapport, nos fabricants français aient tenu à honneur de relever le marché, et de reconquérir à l'étranger la confiance que souvent nous avons laissé perdre par des négligences funestes à notre prospérité.

La quincaillerie française, si fort dépréciée il y a vingt ans, s'est sensiblement relevée dans la fabrication des objets usuels, qui sont les seuls pouvant faire l'objet d'un commerce étendu. Elle tend aussi à sortir de la routine et à simplifier ses produits, tout en les élevant au niveau des besoins si variés et si compliqués de la société moderne.

Les objets fabriqués sont raisonnés, judicieux souvent, comme ceux que fournit l'Angleterre, mais plus variés, plus élégants, avec des formes moins lourdes. La voie ouverte à l'Exposition est donc bonne ; toute la question se résume à la suivre avec persistance, et à ne laisser sortir des fabriques françaises que des objets d'une qualité égale et bonne, aujourd'hui comme demain. La Prusse a envoyé de la quincaillerie et de la serrurerie fine d'une exécution excellente, relevées par des damasquinures nikelées d'un effet piquant, et qui conviennent mieux au fer que la dorure.

§ 5. — Menuiserie de fer.

Des perfectionnements remarquables se sont produits en France, en Prusse, en Autriche, dans l'emploi de la tôle pour fermetures, telles que volets, persiennes, etc.

L'Angleterre avait ouvert la voie ; elle est maintenant suivie avec succès.

Les persiennes en tôle repoussée, les jalousies en fer pouvant être rendues rigides par un moyen mécanique très-simple, les fers pour vitrages tendent à se répandre jusque dans les constructions les plus ordinaires. Nous attirerons plus spécialement l'attention des constructeurs sur les fermetures en fer de M. Jomain, qui fabrique des feuilles de persiennes d'une seule pièce, embouties, d'un usage excellent et à des prix très-bas.

§ 6. — Serrurerie d'art.

Quant à la serrurerie fine d'art, elle atteint dans l'exposition française une supériorité marquée.

La vitrine de M. Huby est en ce genre un véritable musée de quincaillerie délicate; aussi a-t-il eu l'honneur de voir choisir pour le musée d'art de Vienne un certain nombre des objets exposés par lui. Il semble qu'un fabricant ne saurait trouver un encouragement plus flatteur.

La Belgique et la Suisse ont envoyé aussi de très-précieux objets de serrurerie fine, qui peuvent passer pour des chefs-d'œuvre en ce genre.

La Suède se fait remarquer par la pureté de ses fers et aciers, et, sous ce rapport, sa serrurerie doit être l'objet d'un examen attentif, pour nous surtout, qui n'avons pas toujours souci de la qualité des matières employées dans la fabrication, et qui pensons trop volontiers que l'intelligence suppléera à l'insuffisance ou à l'imperfection de ces matières.

CHAPITRE VII.

CARRELAGES, REVÊTEMENTS, PEINTURE ET GYPSERIE.

---

§ 1. — Carrelages et revêtements.

L'exposition anglaise est particulièrement riche en produits de terre cuite ou de matières factices propres aux carrelages des aires, aux revêtements des murs, etc. C'est encore là une de ces industries renouvelées dans l'Europe occidentale, et qui n'a pas cessé d'être pratiquée en Orient; nous en avons la preuve dans l'exposition de Tunis, de la Turquie et de l'Égypte.

Des échantillons nombreux et des matières premières provenant de Brousse, où il existe encore plusieurs édifices revêtus de briques moulées et émaillées, rapportées en France par M. Parvillié, ont permis à cet artiste de reproduire exactement ces échantillons d'un grand intérêt, au point de vue industriel, et qui peuvent être, dans les intérieurs de nos maisons, d'un

emploi fréquent. Toutefois, cette fabrication, qui chez nous n'est encore pour ainsi dire qu'à l'état d'essai, est pratiquée en Angleterre depuis longtemps déjà et d'une manière tout à fait remarquable.

Ce qu'il importe de constater surtout, c'est l'égalité parfaite des produits anglais, soit comme qualité, soit comme aspect, ce qui permet de faire des revêtements décoratifs de grandes surfaces, comme pavages et revêtements. Les Anglais fournissent aussi beaucoup de terres cuites en petites pièces permettant de faire des mosaïques d'un aspect très-agréable. La fabrique de Nolla, en Espagne, envoie des terres cuites comprimées d'une excellente qualité pour ces sortes d'ouvrages, et aussi pour pavages, à des prix inférieurs à ceux des usines anglaises. L'exposition française montre un assez grand nombre d'échantillons de carrelages en ciments comprimés, en incrustements sur dalles, etc., d'un emploi pratique. Parmi ces produits, ceux de la maison Boch paraissent offrir une solidité parfaite et sont très-décoratifs; mais les tons sont généralement ou criards ou trop sourds. Cette industrie est appelée, nous semble-t-il, à prendre en France un grand développement dans les constructions privées, et à remplacer ces carrelages banals en marbre, d'un aspect froid, qui ont l'inconvénient de se tacher très-facilement, et qui n'ont pas la solidité de ces matières livrées en tables assez épaisses, quoique d'un poids relativement peu considérable.

§ 2. — Peinture en bâtiments, gypserie décorative.

L'Exposition de 1867 est à peu près nulle en produits neufs de peinture appliquée aux bâtiments. L'Angleterre a envoyé quelques échantillons en ce genre qui sont excellents, au moins quant à l'application de la peinture sur des matières préparées, ardoises, ciments, stucs, etc. Cependant, en ces derniers temps, des essais de peinture suivis de bons résultats ont été faits dans nos grands édifices.

SECTION IV

ROUTES ET PONTS, NAVIGATION INTÉRIEURE, FONDATIONS ET OPÉRATIONS DIVERSES,

PAR M. E. BAUDE.

Les pages suivantes ont pour objet de montrer quel est l'état présent de l'art de l'ingénieur dans quelques-unes de ses branches principales. Dans ce travail sommaire, il a été impossible de décrire en peu de mots et sans dessins les ouvrages mentionnés, ainsi que de citer les noms de tous ceux qui ont pris une part active à leur exécution. Pour plus de développements, le lecteur devra recourir aux notices publiées à l'occasion de l'Exposition Universelle, notamment à celles qui ont été libéralement distribuées par le ministère des travaux publics de France, et aux documents spéciaux que nous citerons au besoin.

Les travaux publics ne sont représentés à l'Exposition Universelle de 1867 que par un petit nombre de pays : on ne saurait apprécier, d'après ce qu'ils ont envoyé, la valeur relative de cet élément de la puissance nationale, la partie essentielle du grand outillage de l'industrie, celle qui réduit les frais de transport, lesquels entrent pour une si forte portion dans la valeur de tous les produits; nous nous sommes donc cru autorisé à sortir de l'enceinte de l'Exposition pour

objets très-applicables aux habitations. Ce sont ces claires-voies en plâtre, dont les compartiments variés sertissent des verres de couleur. On peut, en maintes circonstances, tirer parti de ce mode de tamiser la lumière du jour. Mais il importe d'observer avec soin la méthode employée par les Orientaux, et qui consiste à composer l'ornement sertisseur des verres en plusieurs plans, ce qui donne une singulière douceur aux rayons colorés passant à travers cet ornement.

SECTION IV

ROUTES ET PONTS, NAVIGATION INTÉRIEURE, FONDATIONS ET OPÉRATIONS DIVERSES,

PAR M. E. BAUDE.

Les pages suivantes ont pour objet de montrer quel est l'état présent de l'art de l'ingénieur dans quelques-unes de ses branches principales. Dans ce travail sommaire, il a été impossible de décrire en peu de mots et sans dessins les ouvrages mentionnés, ainsi que de citer les noms de tous ceux qui ont pris une part active à leur exécution. Pour plus de développements, le lecteur devra recourir aux notices publiées à l'occasion de l'Exposition Universelle, notamment à celles qui ont été libéralement distribuées par le ministère des travaux publics de France, et aux documents spéciaux que nous citerons au besoin.

Les travaux publics ne sont représentés à l'Exposition Universelle de 1867 que par un petit nombre de pays : on ne saurait apprécier, d'après ce qu'ils ont envoyé, la valeur relative de cet élément de la puissance nationale, la partie essentielle du grand outillage de l'industrie, celle qui réduit les frais de transport, lesquels entrent pour une si forte portion dans la valeur de tous les produits; nous nous sommes donc cru autorisé à sortir de l'enceinte de l'Exposition pour

rendre, autant qu'il dépendait de nous, moins défectueux et moins incomplet le tableau que nous avions à tracer.

Ce travail se divise en cinq chapitres, où sont traités les routes, les ponts et viaducs, en maçonnerie et en métal, les travaux de la navigation intérieure, les systèmes de fondation, et diverses opérations qui intéressent directement l'exécution des travaux publics.

CHAPITRE I.

ROUTES.

Le sujet de ce chapitre paraîtra peut-être de peu d'importance, en présence du spectacle de l'Exposition Universelle et des merveilleux résultats des voies de communication perfectionnées dont elle offre à chaque pas, et dont elle est elle-même l'éclatant témoignage. Cependant des faits récents rendent opportunes quelques observations sur notre ancien système de viabilité. Le développement des chemins de fer a produit une révolution aussi rapide que profonde et bienfaisante dans les habitudes du commerce, de l'industrie, de la vie publique et privée; il n'a pas affaibli l'intérêt qui s'attache aux routes de terre : les routes sont devenues leurs affluents et leurs auxiliaires les plus féconds; elles n'ont rien perdu de leur utilité pour les usages ordinaires de la vie. Bientôt les voies rapides, spécialement affectées aux transports à grande distance, seront équitablement réparties sur le territoire de la France; ce que réclament dès à présent l'agriculture, l'industrie et les relations quotidiennes de toute nature, c'est un système complet qui rende accessible à tous, dans un temps n'exigeant pas plusieurs journées de déplacement, les voies principales du réseau ferré. Les routes sont restées le seul moyen d'obtenir promptement ce résultat, le seul qui se prête à toutes les configurations du sol : elles immobilisent en frais

de premier établissement un capital comparativement très-faible, et elles desservent directement la grande majorité de la population. Quelques indications numériques, mises en regard de celles qui concernent les chemins de fer, ont été groupées dans le tableau ci-joint, non dans le but d'atténuer en quoi que ce soit l'importance ou l'utilité des chemins de fer, mais seulement pour mieux faire ressortir toutes celles que les routes ont conservées.

Personne n'ignore que la source de la prospérité des chemins de fer est dans les parcours partiels; cette vérité a été mise en évidence dès leur origine : une tonne de marchandise n'y parcourt en moyenne que 152 kilomètres; un voyageur, seulement 43 kilomètres. Faire que la multitude des petites stations devienne d'un accès facile et accroître leur trafic dans une proportion faible pour chacune, mais considérable pour l'ensemble, est un objet d'un intérêt beaucoup plus général et plus élevé que d'immobiliser l'épargne du pays dans des entreprises moins que rémunératrices, au profit de quelques localités privilégiées.

Au moment où nous sommes arrivés, on peut se demander quel parti serait le plus profitable à la nation, d'appliquer les ressources de l'impôt au développement des chemins de fer d'intérêt local, ou à l'achèvement de nos voies de terre et d'eau et particulièrement de notre réseau vicinal. L'exemple de certains pays qui ont étendu prématurément leur réseau ferré, avec des capitaux étrangers, il est vrai, doit nous engager à ne prendre une détermination qu'avec prudence; les symptômes que révèlent les tableaux statistiques du mouvement de la population doivent nous inspirer plus de réserve encore.

Chaque système de voie de communication a des propriétés spéciales qu'il faut éviter de confondre : les chemins de fer sont de puissantes machines, nécessitant des frais généraux énormes; ils ne peuvent donner de profits qu'à la condition de répartir ces frais généraux sur une grande masse de produits, de manière que la fraction restant à payer par chacun d'eux

soit minime. Sauf de rares exceptions, les voies ferrées qu'on met en avant aujourd'hui ne sont pas dans ce cas; les petits chemins exécutés dans ces dernières années ne payent même pas leurs frais d'exploitation; ils ne se soutiennent que parce qu'ils ont été imposés d'autorité à des compagnies puissantes; ils n'offrent pas le caractère d'institution locale des chemins de fer d'Écosse, qu'on a voulu leur comparer. Tout ce que de semblables institutions ont à réclamer de l'État, c'est la liberté d'agir et l'appui moral, non le concours pécuniaire; celui-ci doit être réservé pour des intérêts publics plus pressants. C'est ce que les indications suivantes feront peut-être saisir avec plus de précision.

INDICATIONS.	UNITÉS.	VOIES DE TERRE.						CHEMINS de FER.
		ROUTES		CHEMINS VICINAUX			TOTAUX.	
		impériales.	départementales	de grande communication.	d'intérêt collectif.	ordinaires.		
Longueurs construites	kilomètre.	37,400	47,000	72,000	49,000	118,000	323,400	15,750
Id. à terminer	id.	800	1,300	11,000	32,000	236,000	281,100	5,290
Id. totales	id.	38,200	48,300	83,000	81,000	354,000	604,500	»
Routes forestières, thermales, agricoles	id.	»	»	»	»	»	1,700	»
Longueurs totales définitives	id.	»	»	»	»	»	606,200	21,040
Prix de revient moyen par kilomètre	francs.	20,000	15,000	10,000	5,500	4,000	»	443,378
Dépense faite	millions de francs.	748	705	720	270	472	2,915	7,513
Id. à faire	id.	50	20	110	176	800	1,156	1,816
Id. totale	id.	798	725	830	446	1,272	4,071	9,329
Nombre d'habitants par kilomètre construit	habitants.	1,018	811	528	776	323	»	2,416
Par kilomètre de réseau définitif	id.	997	789	438	470	108	»	1,809
Circulation annuelle	milles de tonnes, kilomètres.	5,153	4,482	»	»	»	»	5,837,000
Frais d'entretien moyens par kilomètre	francs.	600	450	306	190	110	»	10,000

L'examen de ce tableau nous apprend que le système de nos routes impériales et départementales est à peu près complet; sur les chemins vicinaux, il reste à faire les fractions suivantes de la longueur totale :

Chemins de grande communication.....	0,13
Id. d'intérêt collectif.....	0,39
Id. ordinaires.....	0,66

Cette tâche se trouve très-inégalement répartie entre les départements; elle retombe plus lourdement sur les pays pauvres et d'accès difficile, qui se trouvent par conséquent de plus en plus retardés par rapport aux provinces riches et pourvues, depuis longtemps, de toute espèce de moyens de transport. Pour mieux faire sentir cette inégalité, on peut dire, en poussant les choses à l'extrême, que la population de l'empire est divisée en deux parties : au point de vue des chemins de fer, l'une pourvue convenablement, d'après le plan arrêté pour l'achèvement complet du réseau, à raison de 1,809 habitants par kilomètre, s'élève à 28,500,000 habitants; l'autre, qui en est privée, serait de 9,500,000 habitants; au point de vue des chemins vicinaux ordinaires, une partie du territoire est convenablement desservie à raison de 1 kilomètre par 108 habitants; elle compte 12,700,000 habitants; l'autre partie non desservie comprendrait 25.300,000 habitants. Ces citations n'ont d'autre objet que de donner une idée de l'état d'avancement relatif du réseau des chemins de fer et de celui des chemins vicinaux.

En ce moment, si l'on a 1 million à dépenser en voies de communication, on pourra l'employer, soit à exécuter 5 kilomètres de chemin de fer d'intérêt local, à raison de 200,000 francs par kilomètre, soit 250 kilomètres de chemin vicinal ordinaire, à raison de 4,000 francs par kilomètre; dans le premier cas on donnera satisfaction aux besoins de 12,000 personnes, soit 2,416 par kilomètre; dans le second cas, on en desservira plus de 80,000, soit 323 par kilomètre.

Les départements en retard ont cependant contribué à l'éta-

tements annexés et aux nouvelles routes qui toutes, sont construites dans les régions montagneuses. Il y a eu en général augmentation du poids utile par collier; ce résultat est dû principalement à la suppression des services de voyageurs les plus importants; mais on ne saurait nier que le bon entretien des chaussées y participe; il y a deux cents ans, les chevaux de roulage ne traînaient que 500 kilogrammes; en 1825, on ne dépassait guère 700 kilogrammes en hiver et 850 en été; aujourd'hui on admet que le chargement d'un cheval peut atteindre 1,000 à 1,250 kilogrammes. Malgré le renchérissement de toutes choses, les prix de transport sur les routes ont éprouvé une diminution correspondante; pour transporter une tonne de marchandises à un kilomètre, on payait, de 1808 à 1812, 0 fr. 33; de 1825 à 1830, 0 fr. 25 à 0 fr. 28; aujourd'hui, le prix est de 0 fr. 18 à 0 fr. 20.

Entretien. — Ces chiffres font bien ressortir l'importance capitale du bon entretien des routes; une diminution de 1 centime sur le prix du transport de la tonne kilométrique procurerait au public une économie de plus de 30 millions par an sur les routes impériales seulement.

Ce n'est qu'au prix d'efforts de tous les instants que les améliorations dans ce sens peuvent être réalisées; deux méthodes sont suivies: celle des rechargements généraux s'applique aux chaussées les plus fréquentées; celle qui est connue sous le nom du *point à temps* est la plus convenable pour la plupart de nos routes. L'usure des chaussées varie beaucoup suivant leur fréquentation; quand elles ont été bien établies, elles peuvent se conserver assez longtemps dans des conditions satisfaisantes à peu de frais; il en résulte malheureusement qu'on est souvent disposé à se faire illusion sur le véritable état des choses; un moment arrive où l'épaisseur de la chaussée se trouve réduite à un degré tel que la moindre cause peut occasionner son défoncement; elle est alors irrévocablement perdue; en d'autres

termes, une chaussée représente un capital qui conserve toute sa valeur si l'entretien est fait de manière à compenser l'usure annuelle de sa superficie; mais s'il n'en est pas ainsi, la valeur de ce capital diminue rapidement chaque année, et il arrive un moment où elle se trouve subitement anéantie. L'insuffisance des crédits accordés, qui s'élèvent sur le prochain exercice à 24 millions pour les routes impériales, est généralement admise; on reconnaît même que pour ramener ces routes à l'état d'entretien normal, il y aurait, dès à présent, à faire une dépense de 75 millions; cette dépense ne peut que s'accroître d'année en année, et dans une progression menaçante, s'il n'y est pas pourvu promptement.

En résumé, deux questions de la plus haute gravité appellent en ce moment l'attention sur nos voies de terre; au sujet de l'achèvement des chemins vicinaux, nous avons cité des documents et des résultats numériques qui semblent propres à mettre en évidence le véritable intérêt public en cette question; en présence de ces résultats, il est permis de se demander s'il n'y a pas une exagération dangereuse dans l'entraînement qui porte plusieurs départements à entreprendre un réseau de chemins de fer d'intérêt local, avant d'avoir terminé les travaux nécessaires pour donner satisfaction à des besoins beaucoup plus pressants, plus généraux et plus respectables. Au sujet de l'entretien des routes, nous n'avons fait que rappeler des considérations présentes à l'esprit de tous les ingénieurs.

CHAPITRE II.

PONTS ET VIADUCS EN MAÇONNERIE.

§ 1. — Ponts.

Ces ouvrages sont construits de préférence en pierre; quels que soient les progrès réalisés par le travail des métaux,

cette préférence se maintient, car aucune espèce de matériaux ne présente au même degré les avantages de durée, d'économie, de facile entretien et d'aspect monumental que l'on recherche dans les travaux de cette importance. Quoique l'art d'établir les voûtes soit bien ancien, il n'est pas cependant resté stationnaire entre les mains des constructeurs modernes; les grands ponts, qui étaient, il y a peu d'années encore, des ouvrages exceptionnels, se sont extraordinairement multipliés; on s'est rendu un compte plus exact de leurs conditions de stabilité, et nous savons maintenant les élever à moins de frais, avec plus de hardiesse et de rapidité.

Ponts de Paris. — Depuis 1852, quatorze ponts ont été construits ou refaits sur la Seine, dans l'enceinte de Paris; trois seulement sont en fer; tous les autres sont en maçonnerie. Ils ont été décrits de la manière la plus complète dans une notice historique insérée au deuxième volume (année 1864) des *Annales des ponts et chaussées*. Les chiffres cités dans cet ouvrage montrent que les ponts en pierre sont moins coûteux à Paris que les ponts en métal. La dépense varie, dans les conditions ordinaires, entre 307 et 399 francs par mètre superficiel de tablier; elle est en moyenne de 350 francs. Plusieurs de ces monuments ont témoigné de progrès importants réalisés dans l'art de bâtir; sans parler de l'arche de 31 mètres, surbaissée au dixième, du Pont-au-Double, exécutée en petits matériaux hourdés en ciment de Vassy, et datant déjà de 1847, système qui, depuis, a rendu tant de services; tel a été l'emploi du ciment de Portland au pont Saint-Michel, en 1857.

Pont Napoléon, à Saint-Sauveur (Hautes-Pyrénées). — Ce pont a été construit sur le gave de Pau pour le passage de la route impériale n° 21, en 1860 et 1861; il se compose d'une arche en plein cintre de 42 mètres d'ouverture et de 1m 45 d'épaisseur à la clef; sa chaussée est à plus de 65 mètres au-dessus des eaux du gave. Dans le site sauvage et grandiose où

il est placé, cet ouvrage produit l'effet le plus pittoresque. Il a coûté 318,636 francs.

Pont d'Albi (*Tarn*). — Il remplace un ancien pont devenu insuffisant. Son axe fait avec la direction des rives un angle de 74°, et la chaussée offre une pente de 0^m 012 par mètre. Il est formé de cinq arches en plein cintre de 27^m 60 d'ouverture. Ce pont est en briques; il est assez difficile, sans le secours de figures, de décrire ses dispositions; elles sont analogues à celles du pont biais construit à Chartres en 1847. Chaque arche se compose de cinq arcs parallèles appareillés droits, ayant 1^m 714 de large, séparés les uns des autres par des espaces vides de 0^m 857. Ces arcs sont en retraite les uns sur les autres de 0^m 731 au plan des naissances, de manière à racheter le biais du passage; ils ont 1^m80 d'épaisseur à la clef, et 2^m20 aux naissances. Les tympans sont formés de trois arceaux évidés en plein cintre de 4 mètres d'ouverture, dont les naissances extrêmes portent sur les grands arcs, et les naissances intermédiaires sur des pieds-droits. Ce système a permis de réduire considérablement le volume des maçonneries, et d'employer presque exclusivement la brique du modèle ordinaire; il a procuré des économies sur les travaux provisoires de levage et d'approche; mais ces avantages se sont trouvés en partie balancés par les sujétions dues aux difficultés du tracé et par l'augmentation des surfaces de parements vus.

Pont de Tilsitt, à Lyon (*Rhône*). — L'ancien pont de Tilsitt, sur la Saône, avait des arches en anses de panier, dont le débouché était insuffisant en temps d'inondation et gênant pour la navigation à vapeur par les moindres crues. La substitution d'arches en arc de cercle et la diminution d'épaisseur des piles ont permis d'augmenter le débouché de 22 pour 100 et de réduire de 0^m 48 à 0^m 13 le remous dans les grandes crues. Le nouveau pont, reconstruit avec les belles pierres de taille de Villebois, a cinq arches; les ouvertures varient de 22^m 84

à 21m 40; la flèche minimum est un dixième de l'ouverture, les voûtes ont 1m 10 d'épaisseur à la clef et 1m 20 aux naissances. L'épaisseur des piles, à cette hauteur, n'est que de 2m 50. Les voûtes sont hourdées en mortier de ciment à prise lente de Grenoble. On les a établies par une méthode analogue à celle qui avait été appliquée au Pont-au-Double et au Petit-Pont, à Paris; on a laissé libres, pendant toute la durée de la construction des voûtes, les joints des naissances; le mortier n'y a été introduit et fiché qu'en dernier lieu, au moment du décintrement. Ce procédé est de nature à prévenir bien des mécomptes en évitant les disjonctions produites, soit par le tassement des cintres, soit par celui des voûtes elles-mêmes. Le pont de Tilsitt a coûté 1,197,274 francs, soit 522 francs par mètre superficiel de tablier.

Pont de Chalonnes (Maine-et-Loire), chemin de fer d'Angers à Niort, Compagnie d'Orléans. — C'est le plus grand pont de maçonnerie construit sur la Loire; sa longueur totale est de 601m 50; il se compose de dix-sept arches elliptiques de 30 mètres d'ouverture, surbaissées au quart. Les rails sont à 11m 85 au-dessus de l'étiage. La construction est en petits matériaux, hourdés en chaux de Paviers et de Doué. Les huit piles et la culée de la rive gauche sont fondées sur béton immergé dans des enceintes de pieux jointifs, dont quelques-unes sont battues à près de 9 mètres de profondeur au-dessous de l'étiage.

Les dépenses se sont élevées à 2,136,000 francs, soit à environ 300 francs par mètre superficiel d'élévation verticale, ou 444 francs par mètre superficiel de tablier.

§ 2. — Viaducs en maçonnerie.

Les grands viaducs sont, de tous les ouvrages élevés sur le parcours des voies de communication, ceux qui offrent le caractère le plus monumental et concourent le plus efficace-

ment à embellir et animer les sites qu'elles traversent. La France est devenue très-riche en édifices de ce genre; les viaducs de Dinan, de la Gartempe, de Chaumont, Nogent-sur-Marne, etc., ont figuré avec honneur aux Expositions précédentes; le développement du réseau des chemins de fer dans les régions les plus accidentées permet de citer quelques nouveaux et remarquables spécimens de ces ouvrages.

Pont-viaduc du Point-du-Jour, sur la Seine, à Paris (chemin de fer de Ceinture). — La seconde section du chemin de fer de Ceinture de Paris, inaugurée presque en même temps que l'Exposition Universelle de 1867, commence à l'extrémité de la ligne d'Auteuil; depuis son origine jusqu'à la Seine, sur une longueur de plus de 1,500 mètres, elle forme une série continue d'ouvrages d'art. C'est d'abord un viaduc composé de 177 arches en plein cintre et de plusieurs passages de route. Désigné successivement sous les noms de viaducs d'Auteuil et du Point-du-Jour, ce monument, dont l'axe est courbe en plan, se trouve placé entre deux larges avenues plantées; ses pieds-droits sont percés de deux séries d'arcades parallèles; il forme ainsi une promenade couverte, remarquable par son caractère nouveau, autant que par l'élégante simplicité de ses dispositions et par sa parfaite exécution. Ce bel ensemble est dignement terminé par le pont-viaduc construit sur la Seine; le tablier du pont a 31 mètres de large entre les têtes et se trouve partagé en trois divisions: deux chaussées de 7m25 pour voitures, et, entre elles, le prolongement du viaduc, dont les rails s'élèvent à 9m40 au-dessus des chaussées. Le pont a cinq arches elliptiques de 30m25 d'ouverture et de 9 mètres de flèche; sa longueur totale est de 174m85. Le viaduc est formé de trente et une arches en plein cintre de 4m80 d'ouverture. Les voûtes du pont ont 1 mètre d'épaisseur à la clef sous les chaussées, et 1m60 sous le viaduc: elles sont en meulières hourdées en mortier de ciment de Portland, sauf les têtes, établies en pierre de taille. Au delà du pont se

trouve enfin un quatrième viaduc, celui de Javel, qui se termine aux remblais de Grenelle.

Les dépenses ont été les suivantes :

	LONGUEURS		DÉPENSES	
Viaduc d'Auteuil	1,073 m.	10 c.	1,780,921 fr.	70 c.
Viaduc du Point-du-jour, élargissement portant la station du chemin de fer de Ceinture	154	75	524,989	82
Pont-viaduc sur la Seine	174	85	3,463,774	35
Viaduc de Javel	119	65	298,420	56
Totaux	1,522 m.	35 c.	6,068,106 fr.	43 c.

Viaduc de Morlaix. — Le chemin de fer de Rennes à Brest est tracé parallèlement aux côtes de la Bretagne ; il rencontre, non loin de leur embouchure, les rivières encaissées dans de profondes vallées de cette région accidentée, et plusieurs grands viaducs ont été nécessaires pour les franchir. Le plus important est celui de Morlaix ; son tablier est élevé de 56^{m}75 au-dessus des quais de la ville, et de 62^{m} 16 au-dessus des fondations. Sa longueur est de 292 mètres. Il est formé de deux étages d'arcades ; celles du haut ont 15^{m} 50 d'ouverture et sont séparées par des piles de 4^{m} 25 d'épaisseur aux naissances ; elles sont au nombre de quatorze. Au premier étage il n'y a que neuf arcades de 10 mètres d'ouverture. Tout l'ouvrage est en granit ; il a été exécuté en deux ans, de 1861 à 1863. Les matériaux ont été montés au moyen d'un pont de service en travées américaines qui s'appuyaient sur les piles et s'élevaient au moyen de verrins, en suivant l'exhaussement des maçonneries. La dépense a été de 2,502,905 francs, ce qui correspond à 171 fr. 83 c. par mètre superficiel d'élévation et à 38 fr. 36 c. par mètre cube de maçonnerie.

Viaduc de Châteaulin (chemin de fer de Nantes à Brest, Compagnie d'Orléans). — Le chemin de fer de Nantes à Brest rencontre au sud de la Bretagne les mêmes difficultés de tracé qu'offrent les Côtes-du-Nord. Le viaduc de Port-Launay traverse, un peu au-dessous de Châteaulin, la vallée de l'Aulne, rivière accessible à la navigation maritime. On a dû adopter, en conséquence, des arcades dépassant les dimensions habituelles : le viaduc se compose de douze arches de 22 mètres d'ouverture; sa hauteur est de 52m 50 au-dessus de la mer moyenne, et de 54m70 au-dessus des fondations. Les trois piles en rivière ont été fondées à 7m40 au-dessous du niveau des hautes mers, au moyen de caissons sans fond, à parois étanches, dans lesquels on a épuisé et maçonné à sec. On a très-habilement profité, pour couler ces caissons, des facilités dont on disposait, par suite de la disposition particulière des lieux, pour faire varier le niveau des eaux dans la rivière. Cet ouvrage diffère de la plupart de ceux du même genre par la grande ouverture de ses arcades, et par l'absence d'un étage intermédiaire ; il est entièrement construit en petits matériaux, sauf les couronnements des soubassements, les plinthes et les parapets. Son exécution a occupé trois campagnes de 1860 à 1864. Il a coûté 2 millions 300,000 francs, soit 154 francs par mètre superficiel d'élévation, fondations comprises, et 131 francs sans les fondations. Le prix moyen du mètre cube de maçonnerie est de 45 francs.

Viaduc de la Fure (chemin de fer de Saint-Rambert à Grenoble). — M. Tony-Fontenay, auteur d'un ouvrage très-intéressant sur la construction des viaducs, joignant l'exemple au précepte, a exposé le modèle de celui de la Fure, qu'il a construit sur le chemin de Saint-Rambert à Grenoble. Ce viaduc se compose d'un seul étage de seize arches, de 14 mètres d'ouverture. Sa hauteur maximum au-dessus du sol est de 41m 50, et sa hauteur moyenne de 31m 07. Il a coûté 1 million, soit 116 francs par mètre superficiel d'élévation ; c'est le

prix de revient le plus économique signalé en France parmi les viaducs comparables comme importance à celui-ci. Les matériaux ont été levés au moyen de roues hydrauliques.

§ 3. — Observations diverses sur les travaux en maçonnerie.

Une des plus grandes améliorations apportées aux travaux de maçonnerie dans ces derniers temps est certainement l'usage des petits matériaux hourdés en mortier de ciment. Depuis quelques années, l'emploi des ciments à prise lente en a rendu l'exécution beaucoup plus sûre et plus facile. Aux mentions précédentes nous aurions pu en ajouter beaucoup d'autres ; nous nous bornerons à citer encore la passerelle de la gare de Milan, exécutée en briques et ciment de la Méditerranée, qui a 25 mètres d'ouverture, et seulement 0m 35 d'épaisseur à la clef; le pont de Pavie, sur le Tessin, les voûtes des docks de Marseille, des réservoirs de la ville de Paris, etc. Depuis qu'il est bien reconnu que des moellons de bonne qualité, mais de petite dimension, liés par le mortier de ciment, sont capables de résister aux plus fortes charges sans tassement appréciable, on a pu obtenir de notables économies dans l'établissement des voûtes et des fondations des grands édifices, en limitant l'emploi de la pierre de taille au strict nécessaire, ou même en l'excluant tout à fait.

La grandeur des ouvertures est un des faits qui frappent le plus l'imagination dans l'établissement des voûtes dont nous venons de parler ; il est assurément puéril et même coupable de chercher à obtenir des effets grandioses au détriment de l'économie dans des travaux d'utilité publique ; mais il est permis toutefois de se demander quelles limites on peut atteindre dans des cas exceptionnels. Il est rare que l'on soit conduit à des portées atteignant 40 mètres ; cependant ces dimensions ont été dépassées dans plusieurs constructions récentes : le viaduc de Nogent-sur-Marne a quatre arches en plein cintre de 50 mètres d'ouverture ; le pont de Chester

(Angleterre), d'une seule arche de 61 mètres, était, jusqu'à ces derniers temps, sans rival sous le rapport de la grandeur de la portée; il est aujourd'hui dépassé par le pont aqueduc de Cabin-Creek, sur le canal de Washington (États-Unis), qui a 69 mètres d'ouverture; celui-ci n'atteint pas encore cependant les dimensions du pont de Trezzo, sur l'Adda (Italie), qui allait jusqu'à 72 mètres. Ce curieux ouvrage, dont il ne subsiste que les culées, faisait partie d'un ensemble de constructions militaires très-remarquables, élevées par les ducs de Milan, et qui ont été ruinées par le célèbre condottiere Francesco Carmagnola, en 1517; il était en petits matériaux.

L'excellente qualité des pierres dont on dispose à Paris, et l'habileté avec laquelle on sait les mettre en œuvre, autorisent chaque jour des hardiesses nouvelles; ainsi on a conçu le projet d'établir sur le petit bras de la Seine, par dessus l'écluse de la Monnaie, une arche de 38 mètres d'ouverture et de 2 mètres de flèche, qui, par suite de la disposition des voies d'accès, ne peut avoir que 0m 80 d'épaisseur à la clef. Avant de s'engager dans cette entreprise exceptionnelle, il convenait de s'assurer qu'elle n'excédait pas les bornes de la prudence: une expérience préalable a eu lieu dans les carrières de Souppes (Seine-et-Marne), dont les pierres (analogues à celles de Château-Landon) ne s'écrasent que sous une charge de 400 kilogrammes par centimètre carré. L'arc d'essai avait les dimensions principales indiquées par le projet de pont; il a été soumis à une série d'épreuves auxquelles il a parfaitement résisté; elles ont mis en évidence, plus nettement qu'on n'avait pu le faire jusqu'ici, l'élasticité de la maçonnerie, et elles ont montré qu'on peut faire en bonne pierre de taille des voûtes de grande portée surbaissées au dix-huitième, pourvu qu'on y apporte tous les soins convenables.

La plus grave difficulté que présente l'exécution de ces grandes voûtes réside dans l'opération du décintrement. Le moment où l'énorme masse d'un pont quitte les cintres qui ont servi à l'édifier pour rester définitivement suspendue dans

l'espace est toujours une épreuve suprême, un instant critique et plein d'émotions pour l'auteur responsable. Pour que l'opération réussisse, il faut que la transition entre les deux états statiques de la maçonnerie ait lieu très-lentement et par degrés insensibles. Un procédé très-ingénieux, imaginé et répandu depuis plusieurs années, satisfait pleinement à ces conditions ; il est fondé sur l'emploi du sable fin et sec, interposé entre le cintre et ses supports fixes. Ce sable est renfermé, soit dans des sacs en toile, soit dans des boîtes en tôle de forme cylindrique, percées vers la base de petits orifices ; il est incompressible ; en réglant convenablement son écoulement, on fait baisser les cintres par éléments en quelque sorte différentiels et sans aucune secousse.

Le levage et le bardage des matériaux des grands viaducs sont des opérations coûteuses et longues qu'on a toujours cherché à simplifier. Depuis quelques années, on s'est attaché à diminuer l'importance des échafauds dormants ; on a employé des grues de très-grande dimension, et cependant maniables, glissant sur des rails, et mues par une petite machine à vapeur. On peut citer celles employées aux travaux de la gare du chemin de fer d'Orléans et aux nouvelles églises de Paris ; au viaduc de Foix, près de Rouen, dont la hauteur est de 33m 50, on a bâti un pont de service de 9 mètres de haut, sur lequel circulaient trois grandes grues à vapeur, de 27 mètres de hauteur ; chacune d'elles, dans un espace de cent vingt jours, a élevé 3,000 mètres cubes de pierre à une hauteur moyenne de 10 mètres, et au prix moyen de 1 fr. 68.

Enfin, parmi les services rendus à l'art des maçonneries, il faut citer ceux qui sont dus au laboratoire d'essai de l'École impériale des Ponts et Chaussées, où tous les matériaux présentés par le public sont analysés et essayés gratuitement ; et au service spécial des Recherches statistiques sur les matériaux de construction organisé à la préfecture du département de la Seine ; il serait à désirer que les résultats très-importants obtenus par ce service reçussent une plus grande publicité.

CHAPITRE III.

PONTS ET VIADUCS MÉTALLIQUES.

Quels que soient les avantages des maçonneries, il est telles circonstances où l'on est obligé d'y renoncer, soit par suite de la difficulté de trouver des points d'appui convenables, soit par la nécessité de se maintenir à un niveau déterminé, ou à cause de la lenteur relative, inhérente à ce mode de construction, et de la perte d'intérêt des capitaux engagés dans les entreprises qui en résulte forcément. On a vivement objecté, dans l'origine, à l'emploi des métaux les détériorations auxquelles ils sont exposés par l'action chimique des agents atmosphériques; aucun fait, à notre connaissance, ne s'est produit qui soit de nature à diminuer la confiance accordée aux constructions métalliques bien établies et bien entretenues. Elles offrent la solution de difficultés insurmontables par tout autre moyen, et quand même, de loin en loin, il faudrait se résigner à interrompre la circulation sur des voies importantes pendant quelques jours, cet inconvénient ne saurait balancer tous les avantages que l'on en retire habituellement; d'ailleurs, l'habileté avec laquelle les ingénieurs de chemins de fer exécutent aujourd'hui les travaux d'entretien et de réparation les plus difficiles, en pleine exploitation, permet d'espérer qu'on saurait au besoin éviter tout arrêt, même de courte durée, pour le renouvellement des plus grands ouvrages.

§ 1. — Poutres droites.

L'usage des ponts en poutres droites s'est considérablement étendu dans ces dernières années; ce type présente en effet des propriétés particulières qui, au point de vue de l'économie et de la rapidité des travaux, ont une très-sérieuse valeur. Les

poutres droites n'exercent sur les piles et culées que des efforts sensiblement verticaux; les appuis peuvent, par conséquent, être établis avec plus d'économie et de sûreté; quand les fondations sont difficiles, ou quand les piles sont très-hautes, cette considération est d'un grand poids. Les inconvénients dus aux changements de température peuvent être facilement écartés par l'emploi de glissières, de rouleaux ou de secteurs.

Au-dessous de la ligne horizontale qui limite inférieurement une poutre droite, l'espace est complétement libre ; c'est souvent une raison décisive pour y recourir sur les fleuves sujets à des débâcles, à des crues violentes ou fréquentés par une navigation active : il n'y a guère d'autre solution possible lorsque les conditions d'un tracé imposent un minimum de hauteur au-dessus d'une voie publique ou d'un cours d'eau. On peut à volonté placer le tablier au bas de la poutre, comme dans les ponts tubulaires, au sommet ou dans une position intermédiaire, et de là résultent de nouvelles facilités.

Les opinions paraissent aujourd'hui fixées sur plusieurs points qui divisaient encore les constructeurs il y a peu d'années. Les ponts tubulaires se composent généralement de deux fermes établies avec toute la solidité voulue ; on renonce au système des poutres à trois fermes solidaires, et à plus forte raison à celui des poutres indépendantes pour chaque voie ; on n'y a plus recours que sur les chemins de fer dont le trafic ne promet pas un développement rapide ; on attend alors que l'accroissement de la circulation l'exige pour établir la seconde poutre. Dans les ponts à plusieurs travées, on ne conteste plus guère les avantages de la solidarité ; on fait les poutres continues ; on réalise ainsi sensiblement les conditions théoriques de l'encastrement sur les points d'appui, qui augmente la résistance dans une proportion considérable.

Il existe encore une assez grande diversité dans les dispositions adoptées pour les fermes ; leur profil est toujours celui du double T, ou de la caisse rectangulaire ; mais c'est surtout sur la manière de construire l'âme verticale qui relie les

plate-bandes, que les avis semblent partagés. Les poutres pleines, appliquées aux grandes portées, ont conservé peu de partisans; elles sont d'un aspect par trop industriel, et leurs avantages, au point de vue de l'économie et de la facilité de construction, ne suffisent pas à racheter ce défaut capital.

Les treillis que l'on substitue aux âmes pleines ont été composés tantôt de fers de petites dimensions, formant un réseau à mailles serrées, tantôt de barres de forte section dessinant de larges quadrilatères ou même de simples triangles. En tous cas, les pièces obliques de l'âme se comportent de deux manières bien distinctes : les unes, qui prolongées iraient rencontrer l'axe vertical de la travée au-dessus de la poutre, sont exposées à des efforts de compression ; les autres, inclinées en sens contraire, résistent à l'extension. Le premier système dérive de l'imitation des poutres américaines en madriers de M. Long. Les barres sont plus nombreuses, mais individuellement plus légères; les efforts sur les plate-bandes sont plus uniformément répartis ; mais les assemblages de l'âme avec les plates-bandes et ceux des pièces de contreventement offrent des difficultés d'autant plus graves que la portée est plus grande.

Les barres des premiers ponts en treillis étaient de simples fers méplats; pour donner plus de rigidité aux pièces comprimées et de stabilité à l'ensemble, on adopte souvent maintenant des sections en forme de T, d'U ou d'auget (ponts de l'Eipel, Autriche). Quand les fermes sont très-hautes, cet expédient peut paraître insuffisant ; on dédouble le treillis. La section transversale de la ferme offre alors la forme d'une caisse rectangulaire très-allongée dans le sens vertical ; on augmente la rigidité des barres comprimées en les entre-toisant deux à deux par un réseau de fers méplats (ponts de Drogheda, du Scorff, etc.).

Entre le système à mailles très-serrées (pont d'Offenburg) et celui des poutres composées d'une série de triangles égaux, compris entre deux plates-bandes horizontales (Newark, Crumlin, etc.), qui représentent l'extrême opposé, il y a place pour

une infinité de combinaisons intermédiaires ; le moyen terme semble aujourd'hui préféré aux systèmes absolus.

La facilité avec laquelle les pièces simples, qui composent les poutres droites, préparées et ajustées dans les grands centres industriels, peuvent être transportées au loin et ajustées sur place, et la diversité des moyens dont on dispose pour leur levage sont comptées au nombre des propriétés les plus avantageuses de ce système, surtout pour les ouvrages à exécuter dans les pays lointains et dépourvus de ressources.

Les petites poutres de 15 à 20 mètres d'ouverture sont portées toutes faites sur deux wagons, amenées sur rails entre leurs culées, et descendues avec des chèvres sur leurs appuis.

On peut aussi construire une poutre droite sur son emplacement définitif, au moyen d'échafaudages provisoires établis dans le lit des rivières ; les fermes sont montées à volonté verticalement, ou à plat, et levées en décrivant un quart de révolution. On peut faire le montage à terre, par travée, sur un chantier parallèle au cours de la rivière, placer la poutre terminée sur des pontons, la faire flotter jusqu'à pied d'œuvre, et la lever jusqu'à la hauteur voulue au moyen de presses hydrauliques, ou de tout autre engin. Les grandes travées métalliques, d'environ 140 mètres d'ouverture de Menai et de Saltash, ont été mises en place par ce procédé. A Kowno, sur le Niemen (Russie), les pontons portaient des échafaudages un peu plus hauts que le niveau définitif du tablier ; chaque travée, de 78^{m} 72 de long, et pesant 500 tonnes, étant présentée, on la descendait sur ses appuis en introduisant de l'eau dans les pontons qui étaient pourvus de vannes à cet effet.

Un procédé plus simple, aujourd'hui très-répandu, dispense de tout échafaudage en rivière ; il consiste à construire la poutre sur une rive dans le prolongement de l'axe du pont, et à la faire rouler sur des galets, d'un point d'appui à l'autre, jusqu'à ce qu'elle atteigne, soit la rive opposée, soit une pile située au milieu du fleuve, si le travail a été

partagé entre les deux rives. Ce système, appliqué aux grands viaducs à piles métalliques, a permis d'en simplifier extraordinairement la construction, comme on le verra plus loin.

Les grandes arches de pont, de 30 mètres de portée et au delà, étaient, il y a peu d'années, des monuments exceptionnels qui faisaient l'orgueil d'un pays et la réputation d'un ingénieur. Grâce à l'emploi du fer et surtout des poutres droites, elles sont devenues aujourd'hui si multipliées, qu'il serait aussi fastidieux que téméraire de prétendre en donner une liste exacte et complète. Il faut se borner à citer quelques ouvrages caractéristiques dans chaque pays.

France. — Les ponts de Clichy, d'Asnières, de Langon, les petits ponts du chemin de fer de Ceinture (rive droite), sont nos plus anciens types. Ensuite sont venus les ponts de la Quarantaine, à Lyon, de Mâcon, de Saint-Germain des Fossés, de Moulins ; ces ouvrages étaient en poutres pleines. Les ponts d'Argenteuil, d'Orival, d'Elbeuf, sont en treillis à réseau moyennement serré. Le pont de Bordeaux, à panneaux rectangulaires, traversés par leurs diagonales, présente un type tout différent, d'un aspect plus simple et plus monumental. Parmi les ouvrages plus récents, on voyait figurer à l'Exposition Universelle, en modèles ou dessins, les suivants :

Pont du Scorff, à Lorient (chemins de fer de Nantes à Brest, Compagnie d'Orléans).— Composé d'une travée centrale de 64 mètres d'ouverture et de deux travées de 52 mètres. La poutre est formée de deux fermes en caisses à treillis : elle pèse 4,725 kilogrammes par mètre linéaire.

Pont de la place de l'Europe à Paris (chemins de fer de l'Ouest). — Il a été construit pour dégager les accès de la gare Saint-Lazare, dont l'exploitation devenait de jour en jour plus difficile à cause de l'insuffisance de l'espace existant entre les bâtiments de cette gare et les tunnels établis à sa sor-

tie. La nécessité de respecter les alignements de six rues concourant au centre de la place explique la disposition exceptionnelle du plan de cet ouvrage : des sujétions nombreuses et très-graves dérivaient encore du raccordement des pentes des voies publiques dans ce quartier très-accidenté et des exigences de l'exploitation d'une gare où le mouvement dépasse souvent cinq cents trains par jour. Il en est résulté que l'étude et l'exécution du pont de la place de l'Europe ont présenté des difficultés exceptionnelles. Nous n'essayerons pas d'en donner une idée même approximative : un volume autographié accompagné d'un atlas figurent à l'Exposition et renferment les renseignements les plus complets sur cet ouvrage. Il suffira de dire qu'il couvre une superficie de 8,480 mètres carrés : 3,470,000 kilogrammes de métal y sont employés; la dépense s'est élevée à 2,470,000 francs, non compris les chaussées, les trottoirs exécutés par la ville de Paris, et les travaux de démolition des tunnels : cette dépense représente une moyenne de 290 francs par mètre superficiel, dans laquelle la partie métallique entre pour 200 francs.

Ponts de Billancourt (Seine). — Les dessins d'un grand nombre de ponts métalliques exécutés sur des routes départementales ou des chemins vicinaux sont au nombre des objets exposés : ceux de Billancourt sont les plus connus ; ils se composent de cinq travées, dont la plus grande a 37 mètres d'ouverture. Ces ponts ont coûté 652,000 francs, soit 360 fr. 35 par mètre superficiel de tablier, ou 4,326 fr.36 par mètre linéaire.

Angleterre. — Les chemins de fer anglais présentent un nombre infini de ponts métalliques des types les plus variés : mais aucun ouvrage plus hardi que les premiers ponts de Robert Stephenson, sur les détroits de Conway et de Menai, n'a été construit; plusieurs grands ponts ont été établis sur la Tamise pour desservir les nouvelles stations de chemins

de fer bâties au cœur de la métropole britannique; parmi eux, le pont de Charing-Cross offre certaines particularités : son tablier, large de 15 mètres et portant quatre voies, repose sur deux fermes à croisillons de 4m25 de haut; la plupart des travées ont 46m50 de portée. Les barres diagonales et montantes sont assemblées à articulations libres, sur des plates-bandes en forme d'auge, par l'intermédiaire de boulons en acier puddlé de 0m18 de diamètre. Les fermes sont indépendantes et chacune porte 700 tonnes.

L'activité des ingénieurs anglais ne se borne pas à doter leur patrie des travaux exigés chaque jour par le développement si rapide de sa prospérité industrielle; elle s'étend sur tout le globe et s'applique particulièrement à féconder le sol de ces cinquante colonies dispersées sur toute l'étendue des mers où flotte le pavillon britannique, et dont la population s'élève à plus de 150 millions d'habitants. L'emploi des métaux préparés en Angleterre joue le rôle le plus important dans le système des travaux publics de ces colonies; quelques-uns des plus considérables des ouvrages d'art connus ont été construits pour elles.

Tel est le pont Victoria sur le fleuve Saint-Laurent, à Mont réal (Canada); il a une longueur totale de 2,760 mètres; le tube métallique à lui seul compte 1,977m60 de long, et se compose de vingt-cinq travées, dont la plus grande a 99 mètres d'ouverture et les autres 72m60; il est à une seule voie et son tablier est porté par deux fermes pleines. 9,000 tonnes de fer, préparées à Birkenhead, en Angleterre, y ont été employées; l'ouvrage a coûté 31,550,000 francs. M. Hodges, qui a dirigé les travaux, en a publié une histoire complète : il a raconté les luttes qu'il a dû soutenir pendant cinq ans contre un fleuve de deux kilomètres de large, sujet à des crues redoutables et à des débâcles terribles, animé par une navigation très-active et sous un climat d'une rigueur extrême. Le Saint-Laurent est gelé pendant cinq mois chaque année : en hiver toute communication était interrompue entre la mer et le nord du conti-

nent anglo-américain ; le pont Victoria a fait cesser cet isolement, et des relations faciles existent désormais en tout temps entre le Canada et les ports de Boston et de New-York.

Il importe de n'employer que des types simples, composés de pièces uniformes, susceptibles d'être substituées les unes aux autres, dans ces régions éloignées où tout manque, où les travaux sont exposés à être interrompus par les retards dans l'arrivage des matériaux, par les naufrages et par mille autres causes. C'est à ce titre qu'il convient d'appeler l'attention sur les viaducs construits daus l'Inde par M. le colonel Kennedy.

Allemagne — Quand ils ont commencé le réseau de voies ferrées, qu'ils ont su exécuter dans un esprit si excellent et si bien adapté à la nature de leur pays, les ingénieurs allemands paraissent avoir été singulièrement préoccupés de l'économie à réaliser sur les grands ouvrages d'art : l'exemple des États-Unis les a d'abord entraînés, et ils ont fait plus d'un emprunt à leurs types de poutres armées en charpente. L'expérience n'a pas tardé à prouver qu'une trop grande économie sur les frais de premier établissement pouvait être mal entendue, et il paraît bien admis maintenant en Allemagne, comme partout, que lorsqu'on ne peut pas exécuter les travaux de chemins de fer en maçonnerie, le fer seul est acceptable. Tous les ingénieurs ont été tenus au courant des discussions instructives auxquelles donnèrent lieu, il y a plusieurs années, les études des chemins de fer du Hanovre et de la Prusse. Le type des poutres droites à treillis serré est très-répandu en Allemagne : il compte quelques-uns des plus grand ouvrages d'art du continent européen : le pont d'Offenbourg, sur la Kinzig, de 63 mètres d'ouverture ; le pont de Dirschau, sur la Vistule, composé de six travées de 120 mètres d'ouverture ; le pont de Marienbourg, sur la Nogat, de deux travées de 97 mètres d'ouverture ; le pont de Kehl, sur le Rhin, de cinq travées, dont trois de 56 mètres ; le pont de Cologne, de quatre travées de

97 mètres; le pont de Passau, sur l'Inn, d'une travée de 89 mètres; les ponts de la vallée de la Lahn, etc.

Cependant les ouvrages exposés au palais du Champ-de-Mars par les ingénieurs allemands étaient conçus dans un esprit différent. Le pont sur la Pregel, à Königsberg, se compose d'une travée tournante de 14m75 d'ouverture et d'une travée fixe de 61m15. Chaque ferme est divisée en quatorze compartiments rectangulaires avec croisillons; le poids du fer employé est de 335,543 kilogrammes, soit de 5,500 kilogrammes par mètre courant (double voie).

Le pont sur la Parnitz, à Stettin, se compose de deux travées de rive fixes, de 33m90 d'ouverture, et de deux travées centrales de 12m56, formées par un pont tournant symétrique à double volée. Chaque ferme des travées fixes est divisée en dix compartiments trapézoïdaux, avec diagonales simples étirées, excepté dans les deux compartiments du milieu, où les deux diagonales sont conservées. L'arc comprimé est formé d'un groupe de quatre fers, en double T, juxtaposés deux à deux. Le mètre courant de travée (à double voie) pèse 2,230 kilogrammes. Cette forme de ferme est désignée sous le nom de système Swedler; elle est appliquée dans la même localité au viaduc de 369 mètres de long destiné à laisser écouler les inondations de l'Oder, qui comprend quatorze ouvertures de 22m60. Chaque travée ne pèse que 1,800 kilogrammes par mètre courant (double voie).

Le pont de la Parnitz, fondé au moyen de l'air comprimé, sur piles tubulaires, à 7 mètres au-dessous de l'étiage, a coûté 3,513 francs le mètre courant. Le pont de l'Oder, fondé sur tubes foncés à l'air libre, n'a coûté que 1,588 francs.

Russie. — La nature de ce pays, le défaut de ressources et surtout de matériaux propres aux maçonneries, ont obligé la Grande Compagnie des chemins de fer Russes à recourir presque exclusivement à l'emploi des poutres métalliques. M. E. Gouin, chargé de cette entreprise, a eu à construire

environ, 137 travées formant une longueur de 2,700 mètres et un poids de 10,700 tonnes, dont les éléments préparés dans ses ateliers à Paris ont été transportés à l'autre extrémité de l'Europe, et montés à travers mille difficultés dues principalement à l'absence de voies d'accès, à l'inexpérience des populations et à la rigueur du climat. Quelques-uns de ces ouvrages sont de premier ordre ; entre autres, le pont sur le Niémen, à Kowno, composé de quatre travées, deux de 78m72 au milieu, deux de 70m48 aux extrémités ; le tablier a 300m40 de long et pèse 1,966 tonnes ; le pont sur le même fleuve, à Grodno, a trois travées, l'une, au milieu, de 69 mètres, et deux autres, de 56m20 ; le tablier. de 188m60, pèse 1,324 tonnes ; le pont sur la Vistule, à Varsovie, a six travées de 80 mètres d'axe en axe des appuis, formées de deux fermes, pesant 4,392 tonnes ; il a été construit en une année.

En Espagne et en Italie, on peut citer encore de nombreux exemples de poutres droites : parmi les principaux se trouve le pont de Mezzanacorti, sur le Pô, avec travées de 80 mètres d'ouverture.

États-Unis. — La plupart des voies de chemins de fer des États-Unis ont été établies dans des régions entièrement neuves. Ils ont précédé les routes et ils ont rencontré, comme obstacles principaux, les fleuves qui portent à l'Océan Atlantique et au golfe du Mexique le tribut des eaux d'un continent immense. Il a fallu les franchir avec économie, car on ne pouvait attendre un revenu très-rémunérateur d'entreprises exécutées dans ces conditions, avec rapidité, car l'ardeur américaine ne permet pas de lenteur, et on a dû, par conséquent, utiliser les ressources locales, c'est-à-dire les bois que le sol fournit en abondance et de qualité supérieure. C'est ainsi qu'ont été créés les systèmes de poutres armées en charpente, bien connus en Europe, de Town, Howe, Long, Mac-Callun, etc.*

Entre les mains des ingénieurs américains, le bois s'est

plié à toutes les exigences; il a permis d'établir des ouvrages d'une grandeur et d'une hardiesse étonnantes ; tels le viaduc de Haut-Portage, qui a 80 mètres de haut et 267 mètres de long, le pont de Cascade-Glen qui a une ouverture de 84 mètres, etc. Cependant les défauts du bois, le danger des incendies, la décadence rapide des matériaux se sont fait promptement sentir. Sauf de rares exemples les meilleurs ponts ne durent pas vingt ans; quoique l'économie réalisée sur le capital de premier établissement soit considérable, puisque pour des portées de 30 à 50 mètres et pour une seule voie, les ponts reviennent à la faible somme de 360 à 600 francs le mètre linéaire, les inconvénients de renouvellements fréquents ont été reconnus, et plusieurs systèmes de fermes métalliques ont été proposés et essayés. Ce progrès se manifestait déjà en 1835. Le major Delafield commençait à employer la fonte sous la forme d'arcs à sections elliptiques, semblables à ceux du système Polonceau. C'est dans le même ordre d'idées que sont encore conçus plusieurs ouvrages très-ingénieux du capitaine Meigs, construits en 1858 sur l'aqueduc du Potomac. Les fermes sont formées par des tuyaux circulaires de 1m20 de diamètre, qui donnent passage aux eaux de l'aqueduc, tandis qu'elles soutiennent en même temps un tablier et une chaussée; tel est le pont de Washington, de 60 mètres d'ouverture et 6m de flèche. Mais il paraît que les ponts en arc sont très-rares aux États-Unis ; les poutres en tôles et en treillis sont elles-mêmes peu répandues ; on s'est attaché surtout à perfectionner le système des poutres armées, composées de pièces articulées ; les parties travaillant à la compression, telles que les plates-bandes supérieures, ont été fabriquées en fonte, sous forme de tuyaux cylindriques, juxtaposés sans boulons; les autres pièces en fer de première qualité sont de simples barres à œil. Quelques-unes sont très-inclinées, ce qui oblige à donner aux poutres une grande hauteur, un cinquième à un huitième de leur portée, pour des ouvertures de 36 à 60 mètres; autrement on serait conduit à des impossibi-

lités pratiques. Les poutres sont isolées sur leurs appuis. Elles sont d'une extrême légèreté, et souvent dans des conditions inadmissibles en Europe, sans garde-corps, sans ballast, sans plancher; quelquefois les fermes sont même si rapprochées, que les voitures dépassent leurs parois, et le voyageur se voit suspendu sans aucun obstacle interposé entre lui et l'abîme.

Au moyen des diverses combinaisons dues à MM. Murphy, Whipple, Bollmann, Fink, etc., de très-grandes portées, 60 mètres et plus, ont été franchies avec beaucoup d'économie, c'est-à-dire à raison d'environ 1,200 francs par mètre linéaire de simple voie. Cependant l'opinion, assez généralement répandue de ce côté de l'Atlantique, que les fermes doivent être faites en métal homogène, et les exigences du public pour tout ce qui intéresse sa sécurité, s'opposeront probablement à l'importation en Europe des ponts métalliques des États-Unis.

§ 2. — Viaducs à piles métalliques.

La dépense, les difficultés et le temps nécessaires à la construction d'un grand viaduc s'accroissent rapidement avec la hauteur de ses supports. Pour diminuer ces inconvénients, on a substitué aux piles maçonnées des charpentes métalliques; les exemples de ce système de constructions, dont l'aspect aérien impressionne vivement, ne sont pas encore très-nombreux : on cite les viaducs de Crumlin, en Angleterre; de la Sitter et de Fribourg, en Suisse; en France, on vient de construire deux grands ouvrages de ce genre, les viaducs de Busseau-d'Ahun, sur le chemin de fer de Montluçon à Limoges, et de la Cère, sur la ligne de Figeac à Aurillac. Ils sont décrits dans un savant mémoire inséré au deuxième volume de l'année 1864 des *Annales des ponts et chaussées*.

Le viaduc de Busseau-d'Ahun est à deux voies : il [illegible] 336 mètres de long et s'élève à 57 mètres au-dessus de l'étiage de la Creuse; le tablier se compose d'une poutre droite de 286 mètres de long, avec fermes en treillis; il est soute[illegible]

par cinq piles en charpente métallique, avec soubassements en maçonnerie. Ce viaduc se distingue des précédents par les particularités suivantes : 1° le nombre des palées de chaque pile est réduit à deux ; elles n'ont ainsi, à la partie supérieure, que 6 mètres de longueur et 2 mètres de largeur, d'axe en axe des colonnes ; 2° les axes des huit colonnes composant les deux palées concourent en un même point dans l'espace et forment les arêtes d'une pyramide ; il en résulte un aspect très-net et très-satisfaisant ; sous aucun point de vue, les lignes ne se coupent entre elles et ne forment de ces réseaux embrouillés où l'œil a peine à se reconnaître, et dont l'apparence confuse est souvent reprochée aux constructions métalliques ; 3° au premier abord, on admet difficilement que cet assemblage aérien de légères pièces de fer offre une prise dangereuse à l'action du vent ; il résulte cependant des calculs auxquels on s'est livré qu'il en est tout autrement ; pour obtenir une stabilité suffisante, il a fallu amarrer la superstructure métallique dans les massifs de maçonnerie des soubassements au moyen de barres de fer ayant jusqu'à 0m09 de diamètre ; 4° pour atténuer le danger du déraillement, le platelage a été rendu impénétrable ; il a été composé de longrines de 0m15 d'épaisseur, armées de fortes cornières, et l'approche des garde-corps a été défendue par deux longrines saillantes, formant chasse-roues ; 5° afin d'assurer la répartition égale de la charge entre les deux palées d'une même pile, quelle que soit l'inégalité du chargement du tablier, et afin d'éviter ainsi la déformation des piles au moment du passage des trains, le tablier ne repose que sur des appuis à charnière, placés au milieu de la distance qui sépare les deux palées.

Le viaduc de la Cère n'a qu'une voie ; il est élevé à 55m30 au-dessus de l'étiage de cette rivière ; sa longueur est de 308 mètres ; celle du tablier est de 236m50 ; ses piles sont espacées de 50 mètres, et il présente les mêmes particularités que le précédent.

Nous devons renvoyer au mémoire cité ci-dessus pour

une infinité de combinaisons intermédiaires ; le moyen terme semble aujourd'hui préféré aux systèmes absolus.

La facilité avec laquelle les pièces simples, qui composent les poutres droites, préparées et ajustées dans les grands centres industriels, peuvent être transportées au loin et ajustées sur place, et la diversité des moyens dont on dispose pour leur levage sont comptées au nombre des propriétés les plus avantageuses de ce système, surtout pour les ouvrages à exécuter dans les pays lointains et dépourvus de ressources.

Les petites poutres de 15 à 20 mètres d'ouverture sont portées toutes faites sur deux wagons, amenées sur rails entre leurs culées, et descendues avec des chèvres sur leurs appuis.

On peut aussi construire une poutre droite sur son emplacement définitif, au moyen d'échafaudages provisoires établis dans le lit des rivières ; les fermes sont montées à volonté verticalement, ou à plat, et levées en décrivant un quart de révolution. On peut faire le montage à terre, par travée, sur un chantier parallèle au cours de la rivière, placer la poutre terminée sur des pontons, la faire flotter jusqu'à pied d'œuvre, et la lever jusqu'à la hauteur voulue au moyen de presses hydrauliques, ou de tout autre engin. Les grandes travées métalliques, d'environ 140 mètres d'ouverture de Menai et de Saltash, ont été mises en place par ce procédé. A Kowno, sur le Niemen (Russie), les pontons portaient des échafaudages un peu plus hauts que le niveau définitif du tablier ; chaque travée, de 78^{m} 72 de long, et pesant 500 tonnes, étant présentée, on la descendait sur ses appuis en introduisant de l'eau dans les pontons qui étaient pourvus de vannes à cet effet.

Un procédé plus simple, aujourd'hui très-répandu, dispense de tout échafaudage en rivière ; il consiste à construire la poutre sur une rive dans le prolongement de l'axe du pont, et à la faire rouler sur des galets, d'un point d'appui à l'autre, jusqu'à ce qu'elle atteigne, soit la rive opposée, soit une pile située au milieu du fleuve, si le travail a été

partagé entre les deux rives. Ce système, appliqué aux grands viaducs à piles métalliques, a permis d'en simplifier extraordinairement la construction, comme on le verra plus loin.

Les grandes arches de pont, de 30 mètres de portée et au delà, étaient, il y a peu d'années, des monuments exceptionnels qui faisaient l'orgueil d'un pays et la réputation d'un ingénieur. Grâce à l'emploi du fer et surtout des poutres droites, elles sont devenues aujourd'hui si multipliées, qu'il serait aussi fastidieux que téméraire de prétendre en donner une liste exacte et complète. Il faut se borner à citer quelques ouvrages caractéristiques dans chaque pays.

France. — Les ponts de Clichy, d'Asnières, de Langon, les petits ponts du chemin de fer de Ceinture (rive droite), sont nos plus anciens types. Ensuite sont venus les ponts de la Quarantaine, à Lyon, de Mâcon, de Saint-Germain des Fossés, de Moulins ; ces ouvrages étaient en poutres pleines. Les ponts d'Argenteuil, d'Orival, d'Elbeuf, sont en treillis à réseau moyennement serré. Le pont de Bordeaux, à panneaux rectangulaires, traversés par leurs diagonales, présente un type tout différent, d'un aspect plus simple et plus monumental. Parmi les ouvrages plus récents, on voyait figurer à l'Exposition Universelle, en modèles ou dessins, les suivants :

Pont du Scorff, à Lorient (chemins de fer de Nantes à Brest, Compagnie d'Orléans).— Composé d'une travée centrale de 64 mètres d'ouverture et de deux travées de 52 mètres. La poutre est formée de deux fermes en caisses à treillis : elle pèse 4,725 kilogrammes par mètre linéaire.

Pont de la place de l'Europe à Paris (chemins de fer de l'Ouest). — Il a été construit pour dégager les accès de la gare Saint-Lazare, dont l'exploitation devenait de jour en jour plus difficile à cause de l'insuffisance de l'espace existant entre les bâtiments de cette gare et les tunnels établis à sa sor-

tie. La nécessité de respecter les alignements de six rues concourant au centre de la place explique la disposition exceptionnelle du plan de cet ouvrage : des sujétions nombreuses et très-graves dérivaient encore du raccordement des pentes des voies publiques dans ce quartier très-accidenté et des exigences de l'exploitation d'une gare où le mouvement dépasse souvent cinq cents trains par jour. Il en est résulté que l'étude et l'exécution du pont de la place de l'Europe ont présenté des difficultés exceptionnelles. Nous n'essayerons pas d'en donner une idée même approximative : un volume autographié accompagné d'un atlas figurent à l'Exposition et renferment les renseignements les plus complets sur cet ouvrage. Il suffira de dire qu'il couvre une superficie de 8,480 mètres carrés : 3,470,000 kilogrammes de métal y sont employés; la dépense s'est élevée à 2,470,000 francs, non compris les chaussées, les trottoirs exécutés par la ville de Paris, et les travaux de démolition des tunnels : cette dépense représente une moyenne de 290 francs par mètre superficiel, dans laquelle la partie métallique entre pour 200 francs.

Ponts de Billancourt (Seine). — Les dessins d'un grand nombre de ponts métalliques exécutés sur des routes départementales ou des chemins vicinaux sont au nombre des objets exposés : ceux de Billancourt sont les plus connus ; ils se composent de cinq travées, dont la plus grande a 37 mètres d'ouverture. Ces ponts ont coûté 652,000 francs, soit 360 fr. 35 par mètre superficiel de tablier, ou 4,326 fr.36 par mètre linéaire.

Angleterre. — Les chemins de fer anglais présentent un nombre infini de ponts métalliques des types les plus variés : mais aucun ouvrage plus hardi que les premiers ponts de Robert Stephenson, sur les détroits de Conway et de Menai, n'a été construit; plusieurs grands ponts ont été établis sur la Tamise pour desservir les nouvelles stations de chemins

de fer bâties au cœur de la métropole britannique; parmi eux, le pont de Charing-Cross offre certaines particularités : son tablier, large de 15 mètres et portant quatre voies, repose sur deux fermes à croisillons de 4m25 de haut; la plupart des travées ont 46m50 de portée. Les barres diagonales et montantes sont assemblées à articulations libres, sur des plates-bandes en forme d'auge, par l'intermédiaire de boulons en acier puddlé de 0m18 de diamètre. Les fermes sont indépendantes et chacune porte 700 tonnes.

L'activité des ingénieurs anglais ne se borne pas à doter leur patrie des travaux exigés chaque jour par le développement si rapide de sa prospérité industrielle; elle s'étend sur tout le globe et s'applique particulièrement à féconder le sol de ces cinquante colonies dispersées sur toute l'étendue des mers où flotte le pavillon britannique, et dont la population s'élève à plus de 150 millions d'habitants. L'emploi des métaux préparés en Angleterre joue le rôle le plus important dans le système des travaux publics de ces colonies; quelques-uns des plus considérables des ouvrages d'art connus ont été construits pour elles.

Tel est le pont Victoria sur le fleuve Saint-Laurent, à Mont réal (Canada); il a une longueur totale de 2,760 mètres; le tube métallique à lui seul compte 1,977m60 de long, et se compose de vingt-cinq travées, dont la plus grande a 99 mètres d'ouverture et les autres 72m60; il est à une seule voie et son tablier est porté par deux fermes pleines. 9,000 tonnes de fer, préparées à Birkenhead, en Angleterre, y ont été employées; l'ouvrage a coûté 31,550,000 francs. M. Hodges, qui a dirigé les travaux, en a publié une histoire complète : il a raconté les luttes qu'il a dû soutenir pendant cinq ans contre un fleuve de deux kilomètres de large, sujet à des crues redoutables et à des débâcles terribles, animé par une navigation très-active et sous un climat d'une rigueur extrême. Le Saint-Laurent est gelé pendant cinq mois chaque année : en hiver toute communication était interrompue entre la mer et le nord du conti-

nent anglo-américain ; le pont Victoria a fait cesser cet isolement, et des relations faciles existent désormais en tout temps entre le Canada et les ports de Boston et de New-York.

Il importe de n'employer que des types simples, composés de pièces uniformes, susceptibles d'être substituées les unes aux autres, dans ces régions éloignées où tout manque, où les travaux sont exposés à être interrompus par les retards dans l'arrivage des matériaux, par les naufrages et par mille autres causes. C'est à ce titre qu'il convient d'appeler l'attention sur les viaducs construits daus l'Inde par M. le colonel Kennedy.

Allemagne — Quand ils ont commencé le réseau de voies ferrées, qu'ils ont su exécuter dans un esprit si excellent et si bien adapté à la nature de leur pays, les ingénieurs allemands paraissent avoir été singulièrement préoccupés de l'économie à réaliser sur les grands ouvrages d'art : l'exemple des États-Unis les a d'abord entraînés, et ils ont fait plus d'un emprunt à leurs types de poutres armées en charpente. L'expérience n'a pas tardé à prouver qu'une trop grande économie sur les frais de premier établissement pouvait être mal entendue, et il paraît bien admis maintenant en Allemagne, comme partout, que lorsqu'on ne peut pas exécuter les travaux de chemins de fer en maçonnerie, le fer seul est acceptable. Tous les ingénieurs ont été tenus au courant des discussions instructives auxquelles donnèrent lieu, il y a plusieurs années, les études des chemins de fer du Hanovre et de la Prusse. Le type des poutres droites à treillis serré est très-répandu en Allemagne : il compte quelques-uns des plus grand ouvrages d'art du continent européen : le pont d'Offenbourg, sur la Kinzig, de 63 mètres d'ouverture ; le pont de Dirschau, sur la Vistule, composé de six travées de 120 mètres d'ouverture ; le pont de Marienbourg, sur la Nogat, de deux travées de 97 mètres d'ouverture ; le pont de Kehl, sur le Rhin, de cinq travées, dont trois de 56 mètres ; le pont de Cologne, de quatre travées de

97 mètres; le pont de Passau, sur l'Inn, d'une travée de 89 mètres; les ponts de la vallée de la Lahn, etc.

Cependant les ouvrages exposés au palais du Champ-de-Mars par les ingénieurs allemands étaient conçus dans un esprit différent. Le pont sur la Pregel, à Königsberg, se compose d'une travée tournante de 14m75 d'ouverture et d'une travée fixe de 61m15. Chaque ferme est divisée en quatorze compartiments rectangulaires avec croisillons; le poids du fer employé est de 335,543 kilogrammes, soit de 5,500 kilogrammes par mètre courant (double voie).

Le pont sur la Parnitz, à Stettin, se compose de deux travées de rive fixes, de 33m90 d'ouverture, et de deux travées centrales de 12m56, formées par un pont tournant symétrique à double volée. Chaque ferme des travées fixes est divisée en dix compartiments trapézoïdaux, avec diagonales simples étirées, excepté dans les deux compartiments du milieu, où les deux diagonales sont conservées. L'arc comprimé est formé d'un groupe de quatre fers, en double T, juxtaposés deux à deux. Le mètre courant de travée (à double voie) pèse 2,230 kilogrammes. Cette forme de ferme est désignée sous le nom de système Swedler; elle est appliquée dans la même localité au viaduc de 369 mètres de long destiné à laisser écouler les inondations de l'Oder, qui comprend quatorze ouvertures de 22m60. Chaque travée ne pèse que 1,800 kilogrammes par mètre courant (double voie).

Le pont de la Parnitz, fondé au moyen de l'air comprimé, sur piles tubulaires, à 7 mètres au-dessous de l'étiage, a coûté 3,513 francs le mètre courant. Le pont de l'Oder, fondé sur tubes foncés à l'air libre, n'a coûté que 1,588 francs.

Russie. — La nature de ce pays, le défaut de ressources et surtout de matériaux propres aux maçonneries, ont obligé la Grande Compagnie des chemins de fer Russes à recourir presque exclusivement à l'emploi des poutres métalliques. M. E. Gouin, chargé de cette entreprise, a eu à construire

environ, 137 travées formant une longueur de 2,700 mètres et un poids de 10,700 tonnes, dont les éléments préparés dans ses ateliers à Paris ont été transportés à l'autre extrémité de l'Europe, et montés à travers mille difficultés dues principalement à l'absence de voies d'accès, à l'inexpérience des populations et à la rigueur du climat. Quelques-uns de ces ouvrages sont de premier ordre ; entre autres, le pont sur le Niémen, à Kowno, composé de quatre travées, deux de 78m72 au milieu, deux de 70m48 aux extrémités ; le tablier a 300m40 de long et pèse 1,966 tonnes ; le pont sur le même fleuve, à Grodno, a trois travées, l'une, au milieu, de 69 mètres, et deux autres, de 56m20 ; le tablier, de 188m60, pèse 1,324 tonnes ; le pont sur la Vistule, à Varsovie, a six travées de 80 mètres d'axe en axe des appuis, formées de deux fermes, pesant 4,392 tonnes ; il a été construit en une année.

En Espagne et en Italie, on peut citer encore de nombreux exemples de poutres droites : parmi les principaux se trouve le pont de Mezzanacorti, sur le Pô, avec travées de 80 mètres d'ouverture.

États-Unis. — La plupart des voies de chemins de fer des États-Unis ont été établies dans des régions entièrement neuves. Ils ont précédé les routes et ils ont rencontré, comme obstacles principaux, les fleuves qui portent à l'Océan Atlantique et au golfe du Mexique le tribut des eaux d'un continent immense. Il a fallu les franchir avec économie, car on ne pouvait attendre un revenu très-rémunérateur d'entreprises exécutées dans ces conditions, avec rapidité, car l'ardeur américaine ne permet pas de lenteur, et on a dû, par conséquent, utiliser les ressources locales, c'est-à-dire les bois que le sol fournit en abondance et de qualité supérieure. C'est ainsi qu'ont été créés les systèmes de poutres armées en charpente, bien connus en Europe, de Town, Howe, Long, Mac-Callun, etc.

Entre les mains des ingénieurs américains, le bois s'est

plié à toutes les exigences; il a permis d'établir des ouvrages d'une grandeur et d'une hardiesse étonnantes; tels le viaduc de Haut-Portage, qui a 80 mètres de haut et 267 mètres de long, le pont de Cascade-Glen qui a une ouverture de 84 mètres, etc. Cependant les défauts du bois, le danger des incendies, la décadence rapide des matériaux se sont fait promptement sentir. Sauf de rares exemples les meilleurs ponts ne durent pas vingt ans; quoique l'économie réalisée sur le capital de premier établissement soit considérable, puisque pour des portées de 30 à 50 mètres et pour une seule voie, les ponts reviennent à la faible somme de 360 à 600 francs le mètre linéaire, les inconvénients de renouvellements fréquents ont été reconnus, et plusieurs systèmes de fermes métalliques ont été proposés et essayés. Ce progrès se manifestait déjà en 1835. Le major Delafield commençait à employer la fonte sous la forme d'arcs à sections elliptiques, semblables à ceux du système Polonceau. C'est dans le même ordre d'idées que sont encore conçus plusieurs ouvrages très-ingénieux du capitaine Meigs, construits en 1858 sur l'aqueduc du Potomac. Les fermes sont formées par des tuyaux circulaires de 1m20 de diamètre, qui donnent passage aux eaux de l'aqueduc, tandis qu'elles soutiennent en même temps un tablier et une chaussée; tel est le pont de Washington, de 60 mètres d'ouverture et 6m de flèche. Mais il paraît que les ponts en arc sont très-rares aux États-Unis; les poutres en tôles et en treillis sont elles-mêmes peu répandues; on s'est attaché surtout à perfectionner le système des poutres armées, composées de pièces articulées; les parties travaillant à la compression, telles que les plates-bandes supérieures, ont été fabriquées en fonte, sous forme de tuyaux cylindriques, juxtaposés sans boulons; les autres pièces en fer de première qualité sont de simples barres à œil. Quelques-unes sont très-inclinées, ce qui oblige à donner aux poutres une grande hauteur, un cinquième à un huitième de leur portée, pour des ouvertures de 36 à 60 mètres; autrement on serait conduit à des impossibi-

lités pratiques. Les poutres sont isolées sur leurs appuis. Elles sont d'une extrême légèreté, et souvent dans des conditions inadmissibles en Europe, sans garde-corps, sans ballast, sans plancher; quelquefois les fermes sont même si rapprochées, que les voitures dépassent leurs parois, et le voyageur se voit suspendu sans aucun obstacle interposé entre lui et l'abîme.

Au moyen des diverses combinaisons dues à MM. Murphy, Whipple, Bollmann, Fink, etc., de très-grandes portées, 60 mètres et plus, ont été franchies avec beaucoup d'économie, c'est-à-dire à raison d'environ 1,200 francs par mètre linéaire de simple voie. Cependant l'opinion, assez généralement répandue de ce côté de l'Atlantique, que les fermes doivent être faites en métal homogène, et les exigences du public pour tout ce qui intéresse sa sécurité, s'opposeront probablement à l'importation en Europe des ponts métalliques des États-Unis.

§ 2. — Viaducs à piles métalliques.

La dépense, les difficultés et le temps nécessaires à la construction d'un grand viaduc s'accroissent rapidement avec la hauteur de ses supports. Pour diminuer ces inconvénients, on a substitué aux piles maçonnées des charpentes métalliques; les exemples de ce système de constructions, dont l'aspect aérien impressionne vivement, ne sont pas encore très-nombreux : on cite les viaducs de Crumlin, en Angleterre; de la Sitter et de Fribourg, en Suisse; en France, on vient de construire deux grands ouvrages de ce genre, les viaducs de Busseau-d'Ahun, sur le chemin de fer de Montluçon à Limoges, et de la Cère, sur la ligne de Figeac à Aurillac. Ils sont décrits dans un savant mémoire inséré au deuxième volume de l'année 1864 des *Annales des ponts et chaussées*.

Le viaduc de Busseau-d'Ahun est à deux voies; il a 336 mètres de long et s'élève à 57 mètres au-dessus de l'étiage de la Creuse; le tablier se compose d'une poutre droite de 286 mètres de long, avec fermes en treillis; il est soutenu

par cinq piles en charpente métallique, avec soubassements en maçonnerie. Ce viaduc se distingue des précédents par les particularités suivantes : 1° le nombre des palées de chaque pile est réduit à peux ; elles n'ont ainsi, à la partie supérieure, que 6 mètres de longueur et 2 mètres de largeur, d'axe en axe des colonnes ; 2° les axes des huit colonnes composant les deux palées concourent en un même point dans l'espace et forment les arêtes d'une pyramide ; il en résulte un aspect très-net et très-satisfaisant ; sous aucun point de vue, les lignes ne se coupent entre elles et ne forment de ces réseaux embrouillés où l'œil a peine à se reconnaître, et dont l'apparence confuse est souvent reprochée aux constructions métalliques ; 3° au premier abord, on admet difficilement que cet assemblage aérien de légères pièces de fer offre une prise dangereuse à l'action du vent ; il résulte cependant des calculs auxquels on s'est livré qu'il en est tout autrement ; pour obtenir une stabilité suffisante, il a fallu amarrer la superstructure métallique dans les massifs de maçonnerie des soubassements au moyen de barres de fer ayant jusqu'à 0m09 de diamètre ; 4° pour atténuer le danger du déraillement, le platelage a été rendu impénétrable ; il a été composé de longrines de 0m15 d'épaisseur, armées de fortes cornières, et l'approche des garde-corps a été défendue par deux longrines saillantes, formant chasse-roues ; 5° afin d'assurer la répartition égale de la charge entre les deux palées d'une même pile, quelle que soit l'inégalité du chargement du tablier, et afin d'éviter ainsi la déformation des piles au moment du passage des trains, le tablier ne repose que sur des appuis à charnière, placés au milieu de la distance qui sépare les deux palées.

Le viaduc de la Cère n'a qu'une voie ; il est élevé à 55m30 au-dessus de l'étiage de cette rivière ; sa longueur est de 308 mètres ; celle du tablier est de 236m50 ; ses piles sont espacées de 50 mètres, et il présente les mêmes particularités que le précédent.

Nous devons renvoyer au mémoire cité ci-dessus pour

l'étude d'un grand nombre de questions importantes que soulèvent notamment la proportion à observer entre l'écartement et la hauteur des piles et la comparaison des viaducs métalliques avec ceux en maçonnerie ; il est un fait toutefois qu'on ne saurait passer sous silence : c'est l'avantage des premiers au point de vue de la rapidité de l'exécution et de l'économie, dès que la hauteur dépasse 30 mètres. Le tableau suivant permettra d'apprécier la différence des deux systèmes sous ce dernier rapport :

DÉSIGNATION des VIADUCS.	HAUTEUR au-dessus du sol		PRIX MOYEN		OBSERVATIONS.
	moyenne.	maxim.	par mètre linéaire.	par mètre carré d'élévation.	
	Mètres.	Mètres.	Francs.	Francs.	
Viaducs métalliques.					
La Sitter	42 80	62 40	4,536 »	105 98	pour une voie.
La Cère	32 50	53 30	2,782 »	84 85	id.
Fribourg	52 40	76 00	6.060 »	115 65	Les autres viaducs ont deux voies.
Busseau-d'Ahun	35 30	56 50	4,473 »	126 10	
Viaducs en maçonnerie.					
Morlaix	46 30	56 75	»	172 »	
Chaumont	39 30	53 20	»	259 »	
Combe-de-Fin	36 00	44 00	4,530 »	126 »	
La Gartempe	35 80	50 95	7.323 »	205 »	
Port-Launay	» »	52 50	6,162 »	154 »	

Le mètre linéaire de hauteur de pile métallique coûte 2,305 francs à Busseau-d'Ahun, et 2,040 francs à la Cère.

La Compagnie des chemins de fer du Midi fait exécuter sur la ligne de Montpellier à Rhodez plusieurs viaducs en charpente métallique, dont les hauteurs varient de 20 à 70 mètres ; ils sont construits avec d'anciens rails Barlow et Brunel que la substitution du système à double champignon laissait sans emploi.

Les avantages économiques des viaducs à piles métalliques

sont dus surtout à la simplicité de leur levage. Cette opération se fait sans le secours d'aucun échafaudage, par un moyen aussi hardi que simple et ingénieux. Le tablier construit sur le coteau, en arrière de la culée, est lancé dans l'espace par les procédés indiqués plus haut et arrêté à l'aplomb de la première pile à construire ; toutes les pièces qui composent cette pile sont présentées, non plus à pied d'œuvre, mais au contraire au niveau du tablier, au-dessus de la place qu'elles doivent occuper. De là elles sont descendues sur le chantier de montage de la pile avec la plus grande facilité, et, en même temps, avec une économie incomparable et une sécurité complète pour les ouvriers. Ainsi, l'une des grandes piles de Busseau a été montée en cinq jours.

Quand la première pile est terminée, on pousse le tablier en avant, de toute la distance qui sépare cette pile de la seconde ; on procède de la même manière pour la construction de celle-ci, et ainsi de suite. Ce système de construction des grands viaducs à piles métalliques est une des principales innovations introduites dans ces derniers temps. Il présente toutefois un danger résultant de l'action exercée sur la tête des piles pendant le lançage du tablier, qui tend à les renverser avec un bras de levier égal à toute la hauteur de la pile. Au pont de Fribourg, on a fait équilibre à cette action au moyen de chaînes de tension reliant les piles invariablement à la hauteur de leur tête. On a employé, pour le même objet, aux viaducs de la Cère et de Busseau-d'Ahun, un procédé très-ingénieux, qui consistait à placer les treuils de lançage dans l'intérieur du tablier et à prendre les points d'attache des garants sur les piles construites ; il était facile de régler la tension de ces cordes de manière qu'elle fît constamment équilibre à la force d'entraînement exercée sur la pile.

§ 3. — Arcs métalliques.

Les poutres droites étant sollicitées par des efforts de flexion,

n'utilisent qu'imparfaitement la résistance du métal qui les compose; on diminue cet inconvénient en choisissant des profils transversaux où le métal est accumulé vers les extrémités comme le double T, mais il est inhérent au système et ne peut être qu'atténué. Dans les arcs, au contraire, toutes les parties du profil transversal peuvent travailler à pleine charge, et il doit en résulter une notable économie. Quand ces arcs présentent leur concavité vers le sol, et quand leur forme est bien calculée, ils sont exposés exclusivement à des efforts de compression; le profil le plus convenable pour résister à des efforts de cette nature est le profil annulaire, qu'on adopte pour les colonnes. Cette considération avait conduit M. Polonceau à une disposition bien connue, dont le pont du Carrousel offre un type remarquable; mais les surcharges accidentelles auxquelles sont soumis les ponts métalliques sont très-considérables par rapport au poids propre de l'ouvrage; il en résulte que les courbes de pression sont très-différentes les unes des autres, suivant que l'on considère l'arc chargé uniformément sur toute son étendue, hypothèse qui sert généralement de point de départ aux études, et l'arc chargé uniformément sur l'une de ses moitiés seulement, hypothèse la plus défavorable. La forme annulaire du profil transversal se prête mal à ces déplacements de la courbe des pressions, à cause de son peu d'étendue dans le sens vertical; on lui préfère la forme en double T, qui présente en même temps par elle-même plus de rigidité et plus de facilité pour la construction.

Ponts en fonte. — La fonte, étant moins coûteuse que le fer, susceptible d'être employée par plus grandes masses, par conséquent moins sensible aux trépidations, et résistant mieux à la compression, a été longtemps l'objet d'une préférence exclusive pour la fabrication des arcs métalliques. En France, un très-grand nombre de ponts dont les portées s'étendent jusqu'à 60 mètres, et au delà, sont construits en fonte : il suffit de citer ceux de Nevers, Tarascon, la

Voulte, ceux du chemin de fer de Rouen, sur la Seine, de la Guillotière, sur le Rhône, de Solférino, de Saint-Louis, à Paris, etc. M. Georges Martin, qui a pris, comme ingénieur des forges de Fourchambault, une part considérable dans l'exécution de la plupart de ces grands ouvrages, a envoyé à l'Exposition, avec une collection de photographies intéressantes, les modèles de deux ponts très-remarquables.

Le pont d'El Kantara, sur le Rummel, à Constantine (Algérie), est formé d'une seule arche de 56 mètres d'ouverture, jetée à 120 mètres au-dessus du torrent; on y a employé 415 tonnes de métal, soit 7,410 kilogrammes par mètre linéaire; la largeur du tablier est de 12 mètres. Le système employé au levage de l'arche mérite une attention spéciale: la disposition des lieux ne permettait de prendre aucun point d'appui entre les culées, et cette difficulté a été très-habilement vaincue: on a tendu d'une culée à l'autre quatre chaînes munies de tiges pendantes, comme celles d'un pont suspendu; ce premier appareil a servi à supporter des poutrelles sur lesquelles on a cloué un léger tablier formant un premier cintre parallèle à l'intrados de l'arc en fonte; sur ce tablier on a monté le cintre définitif, qui était composé d'arcs en bois constituant une véritable voûte, et enfin sur cette voûte on a installé le pont de service, portant une grue roulante, au moyen de laquelle il a été procédé avec la plus grande facilité au montage des arcs en fonte. Le résultat des épreuves de cette arche a été très-satisfaisant: sous une charge de 500 kilogrammes par mètre carré, on n'a constaté que des abaissements de 0^m006 à 0^m007 à la clef.

Le second modèle représente un pont de 40 mètres d'ouverture, d'un système plus économique, tel que celui construit sur la Seybouse, à Bône (Algérie). Dans ce pont, il n'y a que deux arcs de tête pour porter le tablier; cette disposition, qui concentre toute la résistance sur deux fermes seulement, paraît très-bien appropriée à la nature du métal employé.

Arcs en fer. — Les arcs occupent au-dessous du tablier une certaine hauteur. C'est souvent un inconvénient; on ne peut l'atténuer qu'en diminuant les flèches, mais alors les poussées s'accroissent, la construction devient plus sensible à l'action des surcharges partielles, et le métal peut se trouver même exposé à des efforts alternatifs de pression et d'extension. L'action de la température introduit encore une autre cause de déformation, dont les effets sont d'autant plus à craindre que la hauteur de l'arc à sa naissance est plus grande.

La fonte est peu apte à résister à ces efforts alternatifs ; on est donc conduit à en augmenter la quantité, qui est rarement au-dessous de 4,000 kilogrammes par mètre linéaire pour les ponts de 30 mètres et au-dessus, et l'économie faite sur le prix du métal se trouve annulée. Ces motifs ont amené plusieurs ingénieurs à substituer le fer à la fonte dans la construction des arcs; ils y ont été encouragés par la facilité avec laquelle un arc en fer peut être rendu solidaire de son tympan au moyen de montants en tôle ou d'un simple treillis : l'ensemble peut former alors une vraie poutre armée, susceptible de résister au besoin à des efforts de flexion. On peut citer de nombreux exemples d'arcs en fer : les ponts d'Arcole, à Paris, du canal de la Marne, du chemin de fer de Saint-Quentin à Erqueline, du chemin des Ardennes, sur l'Oise, le pont sur la Theiss, à Szegedin (Hongrie), etc. Dans ce dernier ouvrage, afin d'atténuer les effets de la transmission des poussées d'un arc à l'autre, toutes les travées ont été rendues solidaires; elles sont au nombre de 8 et ont $41^{m}40$ d'ouverture ; elles ne pèsent que 3,278 kilogrammes par mètre linéaire.

Le pont de Saint-Just, sur l'Ardèche, est formé de 6 travées de $46^{m}26$ d'ouverture et $4^{m}50$ de flèche ; le tablier a 7 mètres de large, et ne donne passage qu'à une route. Sa disposition est extrêmement simple.

On a construit, sur le passage qui réunit le Champ-de-Mars aux berges de la Seine, un pont de 25 mètres d'ouverture et de 21 mètres de large, avec tympans en treillis ; la disposition de

cet ouvrage est analogue à celle des ponts de Sennecey (Saône-et-Loire), 5 arches de 53 mètres, de Lodève (Hérault), de Valvins (Seine-et-Marne), 5 arches de 22 mètres, établis précédemment par le même constructeur; mais le pont du Champ-de-Mars se distingue de ses devanciers par l'emploi du métal Bessemer dans l'arc. Sous l'épreuve réglementaire de 400 kilogrammes par mètre superficiel, ce métal travaille ici à 11k30. L'abaissement du prix du métal Bessemer facilitera bientôt son introduction dans les grandes constructions métalliques ; on substituera volontiers au fer, qui ne travaille qu'à 6 kilogrammes, une matière qui peut aisément travailler à 10.

Il subsiste cependant toujours, dans les calculs de la résistance des ponts en arc analogues aux précédents, un élément d'incertitude, principalement en ce qui concerne la tendance qu'éprouvent les joints des naissances à s'ouvrir vers l'intrados ou vers l'extrados, selon que l'arc se dilate ou se comprime, se réchauffe ou se refroidit, en suivant les variations de température de l'air ambiant. Pour se prémunir contre les inconvénients dus à cette cause de déformation, Robert Stephenson, dans un projet de pont en fonte de 100 mètres d'ouverture, pour le détroit de Menai, avait terminé ses arcs aux naissances par des surfaces cylindriques formant articulation. Dans un pont en fer de 45 mètres d'ouverture, construit au passage du chemin de fer du Nord sur le canal Saint-Denis, on a interposé entre les naissances des arcs et leurs sommiers des tourillons de 0m20 de diamètre, et d'une longueur suffisante pour répartir convenablement les pressions sur les appuis, mais dans le sens horizontal, et non dans un plan vertical, comme cela avait eu lieu jusqu'alors. Ce pont ne pèse que 135,000 kilogrammes, soit 3,000 kilogrammes par mètre linéaire.

Le grand pont construit sur le Rhin, à Coblentz, composé de trois arches de 96 mètres d'ouverture, présente aussi une articulation aux naissances. Les arcs, dont le profil transversal

offre la figure d'une caisse rectangulaire de 3m40 de hauteur, ont leurs parois verticales formées par des croisillons. On retrouve la même disposition au pont de Mülheim, sur la Rührr.

On a construit récemment sur le canal Saint-Denis, à la Villette, un pont de 42 mètres d'ouverture, qui présente trois articulations, savoir : deux aux naissances et une à la clef; il en résulte que la courbe des pressions passe forcément par trois points connus, ce qui tend à répartir très-uniformément les pressions dans chacune des moitiés de l'arc. Ce mode de construction a de plus l'avantage de rendre le montage fort simple : après avoir placé les sommiers en fonte, on enlève avec une chèvre chacun des deux demi-arcs ; on les fait reposer sur les tourillons des retombées, et l'on abaisse les deux extrémités de la clef jusqu'à ce qu'elles soient arrivées en regard l'une de l'autre; alors on place le tourillon de la clef. On évite complétement de cette manière l'emploi des cintres.

Les ponts en arc métalliques peuvent donc aussi s'établir sans aucun échafaudage fixe en lit de rivière. Un autre procédé a été employé au nouveau pont de Westminster, à Londres; chacune des fermes de ce pont se composait de trois parties : une partie centrale ou clef en tôle, et deux retombées adjacentes en fonte. Celles-ci étaient formées de voussoirs qui ont été posés sans cintre; ils étaient soutenus en porte-à-faux au moyen de la liaison établie entre eux et ceux de l'arche voisine par dessus la pile ; il était nécessaire évidemment de conduire le travail avec régularité de part et d'autre de cette pile, de façon que les deux encorbellements se fissent toujours équilibre : quand les retombées en fonte ont été placées, on est venu poser le voussoir de clef en tôle au moyen d'une chèvre montée sur un ponton.

Au pont d'El Cinca (Espagne), le tablier est à 35 mètres au-dessus du fond de la vallée; l'usage de la chèvre n'était plus possible. Ce pont se compose d'une seule arche de 70 mètres d'ouverture; on l'a divisée en deux moitiés, et l'on a procédé au montage à partir de chaque culée en maintenant

les retombées en porte-à-faux en équilibre sur les sommiers des naissances au moyen des longerons du tablier solidement amarrés dans le massif des culées, à l'aide de plaques d'ancrage en fonte et de tirants à écrou. Les fermes se montaient en juxtaposant ainsi les éléments successifs du pont préparés à l'avance dans les usines du Creuzot, en France, et conduits en place au moyen de grues roulantes. Les monteurs se tenaient sur des tabliers mobiles sur rouleaux et suspendus à des chaînes, qui permettaient de suivre l'avancement des arcs. Cette belle opération a été exécutée en trois mois, dans un pays sans ressources, au prix de 25,000 francs, soit 100 francs par tonne.

§ 4. — Ponts suspendus.

Les ponts suspendus diffèrent des précédents en ce que l'arc présente sa convexité vers le bas et se trouve exposé à un effort d'extension, dont la composante horizontale sur les culées est reportée sur des points d'appui pris à distance. Personne n'ignore les immenses services rendus par ce système et le dédain exagéré dont il est aujourd'hui l'objet. Quand ils ont été construits et entretenus avec soin, les ponts suspendus ont parfaitement répondu à ce que l'on pouvait en attendre. Mais l'économie tient surtout à la simplicité du mode de réunion du tablier avec les câbles et à la mobilité des articulations; il en résulte des défauts que depuis longtemps on s'est préoccupé de faire disparaître, en vue surtout de l'application aux chemins de fer. On a successivement proposé divers expédients : rigidité des parapets, pose des pièces de pont en biais, liaison des tabliers avec les chaînes par des moyens analogues aux formes usitées pour les tympans des arcs comprimés, soit au moyen de treillis (pont de Castelfranc), soit au moyen de grands compartiments à croisillons (pont de Lambeth, à Londres). On a aussi proposé de former la chaîne de deux câbles liés par un treillis et suffisamment éloignés pour comprendre dans leur intervalle toutes les figures de la

offre la figure d'une caisse rectangulaire de 3m40 de hauteur, ont leurs parois verticales formées par des croisillons. On retrouve la même disposition au pont de Mülheim, sur la Rührr.

On a construit récemment sur le canal Saint-Denis, à la Villette, un pont de 42 mètres d'ouverture, qui présente trois articulations, savoir : deux aux naissances et une à la clef; il en résulte que la courbe des pressions passe forcément par trois points connus, ce qui tend à répartir très-uniformément les pressions dans chacune des moitiés de l'arc. Ce mode de construction a de plus l'avantage de rendre le montage fort simple: après avoir placé les sommiers en fonte, on enlève avec une chèvre chacun des deux demi-arcs ; on les fait reposer sur les tourillons des retombées, et l'on abaisse les deux extrémités de la clef jusqu'à ce qu'elles soient arrivées en regard l'une de l'autre; alors on place le tourillon de la clef. On évite complétement de cette manière l'emploi des cintres.

Les ponts en arc métalliques peuvent donc aussi s'établir sans aucun échafaudage fixe en lit de rivière. Un autre procédé a été employé au nouveau pont de Westminster, à Londres; chacune des fermes de ce pont se composait de trois parties : une partie centrale ou clef en tôle, et deux retombées adjacentes en fonte. Celles-ci étaient formées de voussoirs qui ont été posés sans cintre; ils étaient soutenus en porte-à-faux au moyen de la liaison établie entre eux et ceux de l'arche voisine par dessus la pile ; il était nécessaire évidemment de conduire le travail avec régularité de part et d'autre de cette pile, de façon que les deux encorbellements se fissent toujours équilibre : quand les retombées en fonte ont été placées, on est venu poser le voussoir de clef en tôle au moyen d'une chèvre montée sur un ponton.

Au pont d'El Cinca (Espagne), le tablier est à 35 mètres au-dessus du fond de la vallée; l'usage de la chèvre n'était plus possible. Ce pont se compose d'une seule arche de 70 mètres d'ouverture; on l'a divisée en deux moitiés, et l'on a procédé au montage à partir de chaque culée en maintenant

les retombées en porte-à-faux en équilibre sur les sommiers des naissances au moyen des longerons du tablier solidement amarrés dans le massif des culées, à l'aide de plaques d'ancrage en fonte et de tirants à écrou. Les fermes se montaient en juxtaposant ainsi les éléments successifs du pont préparés à l'avance dans les usines du Creuzot, en France, et conduits en place au moyen de grues roulantes. Les monteurs se tenaient sur des tabliers mobiles sur rouleaux et suspendus à des chaînes, qui permettaient de suivre l'avancement des arcs. Cette belle opération a été exécutée en trois mois, dans un pays sans ressources, au prix de 25,000 francs, soit 100 francs par tonne.

§ 4. — Ponts suspendus.

Les ponts suspendus diffèrent des précédents en ce que l'arc présente sa convexité vers le bas et se trouve exposé à un effort d'extension, dont la composante horizontale sur les culées est reportée sur des points d'appui pris à distance. Personne n'ignore les immenses services rendus par ce système et le dédain exagéré dont il est aujourd'hui l'objet. Quand ils ont été construits et entretenus avec soin, les ponts suspendus ont parfaitement répondu à ce que l'on pouvait en attendre. Mais l'économie tient surtout à la simplicité du mode de réunion du tablier avec les câbles et à la mobilité des articulations; il en résulte des défauts que depuis longtemps on s'est préoccupé de faire disparaître, en vue surtout de l'application aux chemins de fer. On a successivement proposé divers expédients : rigidité des parapets, pose des pièces de pont en biais, liaison des tabliers avec les chaînes par des moyens analogues aux formes usitées pour les tympans des arcs comprimés, soit au moyen de treillis (pont de Castelfranc), soit au moyen de grands compartiments à croisillons (pont de Lambeth, à Londres). On a aussi proposé de former la chaîne de deux câbles liés par un treillis et suffisamment éloignés pour comprendre dans leur intervalle toutes les figures de la

offre la figure d'une caisse rectangulaire de 3m40 de hauteur, ont leurs parois verticales formées par des croisillons. On retrouve la même disposition au pont de Mülheim, sur la Rührr.

On a construit récemment sur le canal Saint-Denis, à la Villette, un pont de 42 mètres d'ouverture, qui présente trois articulations, savoir : deux aux naissances et une à la clef; il en résulte que la courbe des pressions passe forcément par trois points connus, ce qui tend à répartir très-uniformément les pressions dans chacune des moitiés de l'arc. Ce mode de construction a de plus l'avantage de rendre le montage fort simple: après avoir placé les sommiers en fonte, on enlève avec une chèvre chacun des deux demi-arcs ; on les fait reposer sur les tourillons des retombées, et l'on abaisse les deux extrémités de la clef jusqu'à ce qu'elles soient arrivées en regard l'une de l'autre; alors on place le tourillon de la clef. On évite complétement de cette manière l'emploi des cintres.

Les ponts en arc métalliques peuvent donc aussi s'établir sans aucun échafaudage fixe en lit de rivière. Un autre procédé a été employé au nouveau pont de Westminster, à Londres; chacune des fermes de ce pont se composait de trois parties : une partie centrale ou clef en tôle, et deux retombées adjacentes en fonte. Celles-ci étaient formées de voussoirs qui ont été posés sans cintre; ils étaient soutenus en porte-à-faux au moyen de la liaison établie entre eux et ceux de l'arche voisine par dessus la pile ; il était nécessaire évidemment de conduire le travail avec régularité de part et d'autre de cette pile, de façon que les deux encorbellements se fissent toujours équilibre : quand les retombées en fonte ont été placées, on est venu poser le voussoir de clef en tôle au moyen d'une chèvre montée sur un ponton.

Au pont d'El Cinca (Espagne), le tablier est à 35 mètres au-dessus du fond de la vallée; l'usage de la chèvre n'était plus possible. Ce pont se compose d'une seule arche de 70 mètres d'ouverture; on l'a divisée en deux moitiés, et l'on a procédé au montage à partir de chaque culée en maintenant

les retombées en porte-à-faux en équilibre sur les sommiers des naissances au moyen des longerons du tablier solidement amarrés dans le massif des culées, à l'aide de plaques d'ancrage en fonte et de tirants à écrou. Les fermes se montaient en juxtaposant ainsi les éléments successifs du pont préparés à l'avance dans les usines du Creuzot, en France, et conduits en place au moyen de grues roulantes. Les monteurs se tenaient sur des tabliers mobiles sur rouleaux et suspendus à des chaînes, qui permettaient de suivre l'avancement des arcs. Cette belle opération a été exécutée en trois mois, dans un pays sans ressources, au prix de 25,000 francs, soit 100 francs par tonne.

§ 4. — Ponts suspendus.

Les ponts suspendus diffèrent des précédents en ce que l'arc présente sa convexité vers le bas et se trouve exposé à un effort d'extension, dont la composante horizontale sur les culées est reportée sur des points d'appui pris à distance. Personne n'ignore les immenses services rendus par ce système et le dédain exagéré dont il est aujourd'hui l'objet. Quand ils ont été construits et entretenus avec soin, les ponts suspendus ont parfaitement répondu à ce que l'on pouvait en attendre. Mais l'économie tient surtout à la simplicité du mode de réunion du tablier avec les câbles et à la mobilité des articulations; il en résulte des défauts que depuis longtemps on s'est préoccupé de faire disparaître, en vue surtout de l'application aux chemins de fer. On a successivement proposé divers expédients : rigidité des parapets, pose des pièces de pont en biais, liaison des tabliers avec les chaînes par des moyens analogues aux formes usitées pour les tympans des arcs comprimés, soit au moyen de treillis (pont de Castelfranc), soit au moyen de grands compartiments à croisillons (pont de Lambeth, à Londres). On a aussi proposé de former la chaîne de deux câbles liés par un treillis et suffisamment éloignés pour comprendre dans leur intervalle toutes les figures de la

courbe des tensions correspondant aux diverses positions des surcharges (chemins de fer autrichiens).

Jusqu'ici le pont du Niagara est l'exemple le plus remarquable de pont suspendu rigide : sa portée est de 249 mètres. Son tablier est formé par une poutre tubulaire de 5m48 de haut et de 6 mètres de large; les deux fermes de cette poutre sont en bois à croisillons, avec boulons verticaux; elle a par elle-même une grande rigidité. Les traverses inférieures portent une chaussée pour voitures ordinaires; les traverses supérieures portent une voie de chemin de fer. Chaque ferme est supportée par deux câbles indépendants dont les flèches respectives sont de 16m46 et de 19m50. En outre, soixante-quatre tirants, partant du sommet des piles et fixés à la plate-bande supérieure du treillis, et cinquante-quatre tirants inférieurs fixés aux rochers des rives, concourent à la stabilité du système. Le poids du tablier est de 1,000 tonnes : il correspond à une tension de 1,810 tonnes sur les quatre câbles dont la résistance est de 12,000 tonnes. La plus grande surcharge admise se composerait d'un train de 200 tonnes, sur le chemin de fer, et d'une charge de 50 tonnes, sur la route, en voitures et passagers, soit 250 tonnes, qui produiraient sur les câbles une tension supplémentaire de 452 tonnes, et laisseraient leur tension totale inférieure au cinquième de la charge de rupture.

Ce pont, exécuté en 1855, quoique composé en partie de matériaux très-périssables, paraît s'être toujours bien comporté.

Les propriétés remarquables dont jouissent les ponts suspendus de résister exclusivement à la tension, de se trouver par eux-mêmes dans un état d'équilibre stable, de laisser au-dessous de leur tablier un débouché maximum, et plusieurs autres inutiles à rappeler ici, appellent encore sur eux l'attention des ingénieurs; il y a tout lieu d'espérer que les problèmes relatifs à leur rigidité, imparfaitement élaborés jusqu'ici, seront résolus au grand avantage de nos voies de communication de toutes sortes.

§ 5. — Systèmes divers.

Les trois dispositions qui font l'objet des articles précédents peuvent être combinées entre elles ou modifiées de diverses manières; c'est ainsi que l'on a créé divers types peu répandus, dont les principaux sont les suivants : 1° les bowstrings proprement dits, composés d'un arc comprimé dont les poussées sont équilibrées, non plus par des culées immuables, mais par une corde inextensible qui réunit leurs naissances et porte ordinairement le tablier (pont de Windsor, pont de la Vire, etc.). Cette forme, susceptible de nombreuses variantes, se rapproche de celle du solide d'égale résistance; elle n'est applicable qu'à des travées isolées et ne permet un entre-toisement convenable que vers le milieu de la portée; 2° les systèmes employés par Brunel aux ponts de Chepstow et de Saltash, composés de deux arcs qui se présentent leur concavité et se rencontrent sur leurs points d'appui. Ils ont été peu imités; cependant M. Pauli a employé en Allemagne une combinaison analogue; seulement, au lieu de donner aux arcs comprimés la forme annulaire, il a choisi la section en double T ou en caisse. Le pont de Mayence, sur le Rhin, est construit de cette manière; les travées ont 105 mètres de portée; 3° on peut donner aux arcs une position inverse de la précédente, et faire en sorte qu'ils se présentent leur convexité; c'est alors au milieu du tablier qu'ils sont le plus rapprochés. On a quelquefois appliqué au-dessous du tablier des ponts suspendus des arcs inverses, mais ces additions ne présentaient aucune rigidité et n'avaient pour objet que de s'opposer au soulèvement du tablier par l'action du vent (pont de la Roche-Bernard); 4° les arcs ou leurs cordes peuvent être disposés de manière à se rencontrer, non sur les points d'appui, mais dans l'intervalle de la portée (pont de Leeds).

M. de Ruppert, ingénieur en chef de la Compagnie I. R. P. des Chemins de fer autrichiens, a envoyé à l'Exposition deux

projets de ponts qui se rattachent à cette catégorie; l'un, pour le passage du Bosphore à Constantinople, se composerait de deux travées de 206 mètres d'ouverture; l'autre, sur un ravin des Balkans, serait formé d'une seule travée de 253 mètres. Les deux arcs se couperaient au droit du point d'inflexion de la fibre neutre.

§ 6. — Ponts flottants. Bacs.

Deux solutions économiques ont été proposées pour traverser les grands fleuves et les bras de mer en chemin de fer: les bacs à vapeur et les ponts de bateaux.

La première a été appliquée sur les golfes de Forth et de Tay, en Écosse; sur le Nil, à Kaffre-Arayat; sur le Rhin, à Rheinhausen, près Duisburg; des dessins pittoresques, accompagnés d'une description complète, représentaient ce dernier passage à l'Exposition Universelle de 1867.

Un pont de bateaux très-habilement disposé a été jeté sur le même fleuve, entre Maximiliansau et Maxau, pour mettre la ville de Carlsruhe en communication avec les chemins de fer du Palatinat et de l'Alsace. Ce pont a 362^{m}80 long; il se compose de deux rampes d'accès de 64^{m}80 et d'une partie flottante de 234 mètres. Il porte une voie de chemin de fer et deux chaussées. Le niveau du Rhin varie de 5^{m}10, et l'inclinaison des rampes de 0^{m}018 à 0^{m}0329; leurs rails sont portés par des longrines; celles-ci reposent sur des traverses en tôle suspendues à des écrous à vis fixes, montés sur des chevalets, plantés dans le sol; au moyen de ces vis, on fait varier l'inclinaison des rampes suivant la hauteur des eaux. Les longrines sont articulées à charnière au point de jonction de la voie fixe avec l'origine de la rampe. La partie flottante comprend douze travées reposant sur trente-quatre pontons. Les deux travées de rive portent les voies par l'intermédiaire de chevalets pourvus de vis, de manière à établir un raccordement convenable entre la rampe d'accès et la partie flottante; sur le premier chevalet de terre,

proposé plusieurs fois de leur substituer des siphons qui, sous un volume bien moindre, permettent de débiter une masse d'eau d'autant plus considérable, que la différence est plus grande entre le niveau du réservoir et l'orifice inférieur du siphon. La difficulté est d'amorcer ces appareils. Elle a été résolue de la manière la plus ingénieuse au réservoir de Mittersheim (canal des houillères de la Sarre), retenue importante dont la capacité est de 7 millions de mètres cubes. L'appareil est double et composé de deux parties entièrement semblables, mais indépendantes ; il suffira d'en décrire une moitié. Le siphon se compose d'un tuyau en fonte de 0^m70 de diamètre, convenablement recourbé ; à côté se trouve l'amorceur ou petit tuyau de 0^m15 de diamètre : l'orifice supérieur de ce tube auxiliaire affleure le niveau normal de la retenue ; l'orifice inférieur plonge ainsi que celui du siphon dans une bâche constamment pleine d'eau. Les points culminants des deux tubes sont en communication directe par un petit branchement. Voici maintenant comment, au moyen de cette addition, le siphon s'amorce automatiquement : aussitôt que le niveau de la retenue s'élève de 0^m005 au-dessus de la hauteur voulue, l'eau commence à s'écouler dans l'amorceur ; son mouvement entraîne alors tout l'air contenu dans la partie supérieure et dans le siphon, où le liquide ne tarde pas à s'engager et à se déverser à raison de 7 mètres cubes par seconde, dès que la dénivellation atteint 0^m05. Quand la crue cesse, les mêmes phénomènes se reproduisent dans l'ordre inverse, et le siphon se désamorce de lui-même.

Vanne Chaubart. — On peut encore citer parmi les combinaisons nouvelles, appelées à rendre d'utiles services dans l'hydraulique pratique, la vanne de M. Chaubart. Cet appareil se compose d'une vanne automobile appuyée sur deux tourillons cylindriques horizontaux et immobiles, sur lesquels elle peut en quelque sorte rouler. La courbe directrice de la surface cylindrique de roulement est calculée de manière qu'on

CHAPITRE IV.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

La navigation intérieure occupait, il y a trente ans, une des premières places dans les préoccupations publiques; l'avénement des chemins de fer semble, aux yeux de beaucoup de personnes, l'avoir reléguée à un rang par trop modeste. La France possède un réseau de 6,900 kilomètres de rivières navigables et de 4,800 kilomètres de canaux, qui reste un des instruments les plus féconds de son activité industrielle, le seul dont la concurrence sérieuse puisse être opposée au monopole des chemins de fer. Toutes les grandes vallées qui débouchent dans la mer du Nord, l'Océan et la Méditerranée sont unies par les diverses branches de ce réseau ; certaines anomalies et un assez grand nombre d'obstacles partiels s'opposent encore à des relations faciles entre toutes ses parties; mais on s'occupe de les faire disparaître. Ces travaux d'amélioration ont pour principal objet d'assurer aux bateaux partout, et autant que possible en tout temps, un tirant d'eau suffisant; on arrive à ce résultat par divers procédés : les éclusées ou lâchures, crues artificielles et périodiques, obtenues au moyen des eaux préalablement retenues dans des réservoirs ou dans des biefs aménagés à cet effet; les barrages, les digues longitudinales et coupures régularisant le lit des fleuves, les canaux artificiels. A ce premier intérêt de l'aménagement des eaux intérieures en faveur de la navigation se rattachent d'autres questions très-importantes et qui touchent à la fois à l'agriculture, à l'industrie et à la salubrité publique : celles des irrigations, du desséchement des marais, des usines hydrauliques, des distributions d'eau, des inondations. L'Exposition Universelle offrait des spécimens de ces divers genres de travaux, dont quelques-uns ont été appréciés ailleurs

§ 1. — Barrages.

Les barrages munis d'écluses sont employés dans les parties des rivières où l'étiage est insuffisant; mais la plupart de nos voies navigables ont un régime trop inconstant pour admettre des barrages fixes; l'invention des barrages mobiles applicables aux grands cours d'eau a été un fait capital dans l'histoire de notre navigation intérieure. Ceux dont on se sert aujourd'hui appartiennent à trois systèmes, et sont assez connus pour qu'il soit inutile d'insister longuement sur leur description.

Le système de M. Poirée, inventé en 1833, a été appliqué sur l'Yonne, la Seine, l'Oise, le Cher, la Meuse, l'Ébre, etc.; il se compose d'un rideau d'aiguilles en bois s'appuyant par leur pied contre la saillie d'un radier en maçonnerie, et par leur tête contre des barres horizontales en fer élevées de quelques décimètres au-dessus du niveau de la retenue. Les barres d'appui font partie d'un système de fermettes métalliques qui se relèvent verticalement ou se couchent horizontalement, suivant que l'on veut exhausser ou abaisser le niveau des eaux d'amont. Les perfectionnements successifs qu'a reçus le système de M. Poirée depuis son origine consistent principalement: 1° dans l'augmentation de la hauteur des fermettes, qui a été portée de 1m50 (barrage de Basseville sur l'Yonne, 1834) à 3m30 (barrages de la basse Seine); cette amélioration est considérable; les barrages étant toujours un obstacle et une cause de ralentissement pour la navigation, on doit chercher à en restreindre le nombre en donnant à chacun d'eux la plus grande hauteur possible; 2° dans l'établissement de systèmes d'échappement permettant d'abattre très-rapidement le barrage et d'éviter les inconvénients produits par les crues subites survenant pendant que la rivière est fermée, ainsi que la manœuvre pénible de l'enlèvement à la main des aiguilles en hautes eaux.

Le modèle du barrage de Martot, sur la Seine, offre un des exemples les plus nouveaux et les plus complets du système des fermettes. Ce barrage, de 163 mètres de long entre les parements intérieurs des culées, a coûté 708,800 francs, soit 4,050 francs par mètre courant.

Le second système est celui de M. Chanoine; il a été appliqué pour la première fois au barrage de Conflans, construit en 1855 au confluent de l'Aube et de la Seine : depuis, douze barrages de la haute Seine entre Paris et Montereau, dix-sept barrages de l'Yonne et plusieurs de ceux de la Marne ont été construits sur le même modèle.

Les barrages de la haute Seine peuvent être considérés comme un type. Ils comprennent trois parties principales : 1° une grande écluse à sas submersible placée le long de la rive affectée au halage ; 2° une passe navigable de 40 à 55 mètres de long, pourvue de hausses mobiles, dont le seuil est à 0m60 au-dessous de l'étiage ; 3° un déversoir régulateur muni de hausses automobiles, dont la partie fixe est arasée à 0m50 au-dessus de l'étiage, et dont la longueur est de 60 à 70 mètres.

La disposition des hausses du déversoir est la partie la plus caractéristique du système : elles se composent d'un châssis rectangulaire en bois, fixé vers le tiers de sa hauteur sur un axe horizontal autour duquel il peut tourner librement : cet axe constitue le côté supérieur d'un chevalet en fer en forme de trapèze, qui est lui-même doué d'un mouvement de rotation autour de sa base inférieure; enfin un arc-boutant en fer, fixé par articulation au milieu du côté supérieur du chevalet, permet de maintenir celui-ci levé contre le courant ; le pied de cet arc-boutant est appuyé contre un arrêt en fer scellé sur le radier.

Quand les hausses sont couchées elles recouvrent tout le mécanisme.

Les hausses du déversoir ont une hauteur de 1m95 et une largeur de 1m10 ; quand elles sont dressées, leur som-

met affleure le niveau de la retenue; leur axe de suspension se trouve à la hauteur du centre de pression dû à l'action de l'eau retenue; aussitôt que le niveau de cette eau s'élève, il résulte de la disposition adoptée que les hausses se mettent spontanément en bascule et laissent le passage libre, jusqu'à ce que, les eaux étant redescendues à leur niveau primitif, elles se relèvent d'elles-mêmes.

Les hausses de la passe navigable présentent la même disposition générale; elles ont une hauteur de 3 mètres et une largeur de 1m20: leur axe de rotation est entre la moitié et le tiers de leur hauteur. On les abaisse au moyen de barres à talons manœuvrées de la rive, qui agissent successivement sur le pied de tous les arcs-boutants de la passe et les poussent en dehors de leurs points d'appui; un barrage de 50 mètres s'ouvre en quatre minutes. On les relève, lorsqu'elles sont couchées, au moyen d'un treuil placé sur un bateau spécial qui s'appuie pour manœuvrer, soit contre l'épaulement de la pile en rivière, soit contre la partie déjà levée du barrage; on peut relever une passe en une heure.

Voici maintenant comment l'ensemble du système fonctionne.

Dans la saison des grandes eaux, tout le barrage est couché, et la navigation s'opère par la passe sans aucun obstacle. Pendant les basses eaux, toutes les hausses sont relevées, le niveau est maintenu dans la retenue, et la navigation a lieu par l'écluse à sas. S'il survient une crue subite, le déversoir se met en bascule de lui-même et maintient la retenue au niveau voulu; si la crue est considérable, on abat tout ou partie des hausses de la passe navigable. Toutes les manœuvres se font avec rapidité et sûreté et en partie automatiquement.

Les barrages de la haute Seine ont coûté en moyenne 755,014 francs chacun; les prix par mètre courant sont les suivants:

offre la figure d'une caisse rectangulaire de 3m40 de hauteur, ont leurs parois verticales formées par des croisillons. On retrouve la même disposition au pont de Mülheim, sur la Rührr.

On a construit récemment sur le canal Saint-Denis, à la Villette, un pont de 42 mètres d'ouverture, qui présente trois articulations, savoir : deux aux naissances et une à la clef; il en résulte que la courbe des pressions passe forcément par trois points connus, ce qui tend à répartir très-uniformément les pressions dans chacune des moitiés de l'arc. Ce mode de construction a de plus l'avantage de rendre le montage fort simple: après avoir placé les sommiers en fonte, on enlève avec une chèvre chacun des deux demi-arcs ; on les fait reposer sur les tourillons des retombées, et l'on abaisse les deux extrémités de la clef jusqu'à ce qu'elles soient arrivées en regard l'une de l'autre; alors on place le tourillon de la clef. On évite complétement de cette manière l'emploi des cintres.

Les ponts en arc métalliques peuvent donc aussi s'établir sans aucun échafaudage fixe en lit de rivière. Un autre procédé a été employé au nouveau pont de Westminster, à Londres; chacune des fermes de ce pont se composait de trois parties : une partie centrale ou clef en tôle, et deux retombées adjacentes en fonte. Celles-ci étaient formées de voussoirs qui ont été posés sans cintre; ils étaient soutenus en porte-à-faux au moyen de la liaison établie entre eux et ceux de l'arche voisine par dessus la pile ; il était nécessaire évidemment de conduire le travail avec régularité de part et d'autre de cette pile, de façon que les deux encorbellements se fissent toujours équilibre : quand les retombées en fonte ont été placées, on est venu poser le voussoir de clef en tôle au moyen d'une chèvre montée sur un ponton.

Au pont d'El Cinca (Espagne), le tablier est à 35 mètres au-dessus du fond de la vallée; l'usage de la chèvre n'était plus possible. Ce pont se compose d'une seule arche de 70 mètres d'ouverture; on l'a divisée en deux moitiés, et l'on a procédé au montage à partir de chaque culée en maintenant

les retombées en porte-à-faux en équilibre sur les sommiers des naissances au moyen des longerons du tablier solidement amarrés dans le massif des culées, à l'aide de plaques d'ancrage en fonte et de tirants à écrou. Les fermes se montaient en juxtaposant ainsi les éléments successifs du pont préparés à l'avance dans les usines du Creuzot, en France, et conduits en place au moyen de grues roulantes. Les monteurs se tenaient sur des tabliers mobiles sur rouleaux et suspendus à des chaînes, qui permettaient de suivre l'avancement des arcs. Cette belle opération a été exécutée en trois mois, dans un pays sans ressources, au prix de 25,000 francs, soit 100 francs par tonne.

§ 4. — Ponts suspendus.

Les ponts suspendus diffèrent des précédents en ce que l'arc présente sa convexité vers le bas et se trouve exposé à un effort d'extension, dont la composante horizontale sur les culées est reportée sur des points d'appui pris à distance. Personne n'ignore les immenses services rendus par ce système et le dédain exagéré dont il est aujourd'hui l'objet. Quand ils ont été construits et entretenus avec soin, les ponts suspendus ont parfaitement répondu à ce que l'on pouvait en attendre. Mais l'économie tient surtout à la simplicité du mode de réunion du tablier avec les câbles et à la mobilité des articulations; il en résulte des défauts que depuis longtemps on s'est préoccupé de faire disparaître, en vue surtout de l'application aux chemins de fer. On a successivement proposé divers expédients : rigidité des parapets, pose des pièces de pont en biais, liaison des tabliers avec les chaînes par des moyens analogues aux formes usitées pour les tympans des arcs comprimés, soit au moyen de treillis (pont de Castelfranc), soit au moyen de grands compartiments à croisillons (pont de Lambeth, à Londres). On a aussi proposé de former la chaîne de deux câbles liés par un treillis et suffisamment éloignés pour comprendre dans leur intervalle toutes les figures de la

courbe des tensions correspondant aux diverses positions des surcharges (chemins de fer autrichiens).

Jusqu'ici le pont du Niagara est l'exemple le plus remarquable de pont suspendu rigide : sa portée est de 249 mètres. Son tablier est formé par une poutre tubulaire de 5m48 de haut et de 6 mètres de large; les deux fermes de cette poutre sont en bois à croisillons, avec boulons verticaux; elle a par elle-même une grande rigidité. Les traverses inférieures portent une chaussée pour voitures ordinaires; les traverses supérieures portent une voie de chemin de fer. Chaque ferme est supportée par deux câbles indépendants dont les flèches respectives sont de 16m46 et de 19m50. En outre, soixante-quatre tirants, partant du sommet des piles et fixés à la plate-bande supérieure du treillis, et cinquante-quatre tirants inférieurs fixés aux rochers des rives, concourent à la stabilité du système. Le poids du tablier est de 1,000 tonnes : il correspond à une tension de 1,810 tonnes sur les quatre câbles dont la résistance est de 12,000 tonnes. La plus grande surcharge admise se composerait d'un train de 200 tonnes, sur le chemin de fer, et d'une charge de 50 tonnes, sur la route, en voitures et passagers, soit 250 tonnes, qui produiraient sur les câbles une tension supplémentaire de 452 tonnes, et laisseraient leur tension totale inférieure au cinquième de la charge de rupture.

Ce pont, exécuté en 1855, quoique composé en partie de matériaux très-périssables, paraît s'être toujours bien comporté.

Les propriétés remarquables dont jouissent les ponts suspendus de résister exclusivement à la tension, de se trouver par eux-mêmes dans un état d'équilibre stable, de laisser au-dessous de leur tablier un débouché maximum, et plusieurs autres inutiles à rappeler ici, appellent encore sur eux l'attention des ingénieurs; il y a tout lieu d'espérer que les problèmes relatifs à leur rigidité, imparfaitement élaborés jusqu'ici, seront résolus au grand avantage de nos voies de communication de toutes sortes.

§ 5. — Systèmes divers.

Les trois dispositions qui font l'objet des articles précédents peuvent être combinées entre elles ou modifiées de diverses manières; c'est ainsi que l'on a créé divers types peu répandus, dont les principaux sont les suivants : 1° les bowstrings proprement dits, composés d'un arc comprimé dont les poussées sont équilibrées, non plus par des culées immuables, mais par une corde inextensible qui réunit leurs naissances et porte ordinairement le tablier (pont de Windsor, pont de la Vire, etc.). Cette forme, susceptible de nombreuses variantes, se rapproche de celle du solide d'égale résistance; elle n'est applicable qu'à des travées isolées et ne permet un entre-toisement convenable que vers le milieu de la portée; 2° les systèmes employés par Brunel aux ponts de Chepstow et de Saltash, composés de deux arcs qui se présentent leur concavité et se rencontrent sur leurs points d'appui. Ils ont été peu imités; cependant M. Pauli a employé en Allemagne une combinaison analogue; seulement, au lieu de donner aux arcs comprimés la forme annulaire, il a choisi la section en double T ou en caisse. Le pont de Mayence, sur le Rhin, est construit de cette manière; les travées ont 105 mètres de portée; 3° on peut donner aux arcs une position inverse de la précédente, et faire en sorte qu'ils se présentent leur convexité; c'est alors au milieu du tablier qu'ils sont le plus rapprochés. On a quelquefois appliqué au-dessous du tablier des ponts suspendus des arcs inverses, mais ces additions ne présentaient aucune rigidité et n'avaient pour objet que de s'opposer au soulèvement du tablier par l'action du vent (pont de la Roche-Bernard); 4° les arcs ou leurs cordes peuvent être disposés de manière à se rencontrer, non sur les points d'appui, mais dans l'intervalle de la portée (pont de Leeds).

M. de Ruppert, ingénieur en chef de la Compagnie I. R. P. des Chemins de fer autrichiens, a envoyé à l'Exposition deux

projets de ponts qui se rattachent à cette catégorie; l'un, pour le passage du Bosphore à Constantinople, se composerait de deux travées de 206 mètres d'ouverture; l'autre, sur un ravin des Balkans, serait formé d'une seule travée de 253 mètres. Les deux arcs se couperaient au droit du point d'inflexion de la fibre neutre.

§ 6. — Ponts flottants. Bacs.

Deux solutions économiques ont été proposées pour traverser les grands fleuves et les bras de mer en chemin de fer: les bacs à vapeur et les ponts de bateaux.

La première a été appliquée sur les golfes de Forth et de Tay, en Écosse; sur le Nil, à Kaffre-Arayat; sur le Rhin, à Rheinhausen, près Duisburg; des dessins pittoresques, accompagnés d'une description complète, représentaient ce dernier passage à l'Exposition Universelle de 1867.

Un pont de bateaux très-habilement disposé a été jeté sur le même fleuve, entre Maximiliansau et Maxau, pour mettre la ville de Carlsruhe en communication avec les chemins de fer du Palatinat et de l'Alsace. Ce pont a 362^{m}80 long; il se compose de deux rampes d'accès de 64^{m}80 et d'une partie flottante de 234 mètres. Il porte une voie de chemin de fer et deux chaussées. Le niveau du Rhin varie de 5^{m}10, et l'inclinaison des rampes de 0^{m}018 à 0^{m}0329; leurs rails sont portés par des longrines; celles-ci reposent sur des traverses en tôle suspendues à des écrous à vis fixes, montés sur des chevalets, plantés dans le sol; au moyen de ces vis, on fait varier l'inclinaison des rampes suivant la hauteur des eaux. Les longrines sont articulées à charnière au point de jonction de la voie fixe avec l'origine de la rampe. La partie flottante comprend douze travées reposant sur trente-quatre pontons. Les deux travées de rive portent les voies par l'intermédiaire de chevalets pourvus de vis, de manière à établir un raccordement convenable entre la rampe d'accès et la partie flottante; sur le premier chevalet de terre,

a lieu la réunion des longrines de la rampe et de la travée de rive; les deux longrines, présentées bout à bout, sont réunies par une charnière et supportent la traverse en tôle par l'intermédiaire de ressorts qui atténuent l'effet de la dénivellation brusque qui se produirait par le passage d'une charge en mouvement, de la partie fixe à la partie flottante du pont. Les trois travées adjacentes de chaque côté aux travées de rives sont susceptibles de s'ouvrir pour le passage des bateaux; elles sont réunies facilement par le moyen d'armatures à charnières, qui se déplacent, aux travées voisines. Les quatre travées du milieu ne s'enlèvent que pendant les débâcles. Ce pont flottant a coûté 328,000 francs, soit 1,400 francs par mètre linéaire de débouché.

§ 7. — Ponts tournants.

Dans aucune espèce de travaux, l'emploi de la tôle ne présente des avantages aussi incontestés que pour les ponts tournants; les ponts de Dunkerque, du Havre, de Toulon, en France, de la Parnitz, de Kœnigsberg, en Allemagne, de Zvolle, en Hollande, qui figurent à l'Exposition, sont en tôle. En Amérique seulement, on continue à employer le bois, et on l'applique à de très-grandes portées, ainsi que le témoigne le modèle exposé par MM. Chapin et Wells, de Chicago.

L'attention est surtout attirée à l'occasion de ce système de ponts par celui de Brest, de beaucoup le plus grand et le plus hardi de tous les ouvrages de ce genre. Ce pont a été souvent décrit; il suffira de rappeler ses dimensions principales. La longueur du tablier métallique est de 174 mètres; elle est partagée en deux volées qui laissent une largeur de passage libre de 106 mètres quand elles sont ouvertes. Chacune de ces volées pèse 600 tonnes et peut se manœuvrer avec deux hommes en quinze minutes au plus. Le pont a coûté 2,118,835 francs.

100 mètres. Elle peut retenir un cube de 1,600,000 mètres d'eau; une hauteur de 5m50 correspondant à un cube de 400,000 mètres reste toujours vacante pour emmagasiner la portion dommageable d'une crue; le reste forme une réserve pour l'alimentation de la ville et des usines.

La forme du barrage a été étudiée avec le plus grand soin. Le système comprend, en outre, plusieurs ouvrages accessoires, dont les principaux sont les suivants : 1° un canal latéral au réservoir qui, en temps ordinaire, conduit directement à l'aqueduc alimentaire de la ville les eaux recueillies aux sources du Furens; 2° un système de ventellerie placé à l'origine du réservoir, au moyen duquel on peut régler à volonté le volume d'eau à envoyer dans le canal ou dans le réservoir, de manière à protéger Saint-Étienne contre les inondations, et à emmagasiner les eaux dont la quantité dépasse les besoins immédiats de la consommation ; 3° à l'issue du réservoir, un premier tunnel percé dans le rocher, en dehors de la digue, pour évacuer les eaux emmagasinées dans la tranche supérieure du réservoir, dès qu'une crue dangereuse est passée ; 4° un second tunnel, à un niveau très-inférieur au premier, conduisant en temps de sécheresse les eaux du réservoir à un puisard, d'où elles peuvent se rendre à volonté, soit dans le lit du Furens, pour alimenter les usines, soit dans l'aqueduc souterrain de la ville.

En manœuvrant convenablement les vannes et robinets placés aux divers orifices, les fonctions multipliées du réservoir se trouvent remplies de la manière la plus régulière et la plus satisfaisante.

Si vaste que soit l'ensemble des travaux destinés à mettre le pays à l'abri des désastres des inondations, il serait téméraire de prétendre que l'on parviendra jamais à détourner complétement les dangers dus à des phénomènes naturels aussi grandioses ; on doit éviter par-dessus tout d'inspirer aux populations une fausse sécurité. Mais les études du service des inondations, entre autres résultats considérables, en ont

déjà produit un, dont il serait injuste de méconnaître l'importance. grace aux progrès de la météorologie, par des observations pluviométriques et hydrométriques bien combinées dans le haut des vallées, il est possible d'annoncer plusieurs jours d'avance, à quelques centimètres et à quelques heures près, les crues de nos plus grands fleuves : une bonne organisation administrative, secondée par le concours de la télégraphie électrique et de signaux particuliers au besoin, permet d'avertir les communes menacées dans un délai suffisant pour prendre les mesures de défense nécessaires, enlever les récoltes et mettre à l'abri les biens et les personnes en péril. La vallée de la Meuse offre un excellent type de cette organisation, et il serait désirable de la voir adopter plus généralement.

§ 4. — Canaux.

Quand une rivière est tellement incorrigible qu'elle résiste à tous les moyens d'amélioration ordinaires, on la remplace par un canal. C'est ce qui a lieu en ce moment pour le bas Rhône; tous les essais tentés pour abaisser la barre de ce fleuve, à son embouch : ans la Méditerranée, ayant échoué, on s'est décidé à ouvrir une communication directe entre le golfe de Foz et la partie profonde située au-dessus de la barre du Rhône, au moyen d'un canal de 8 mètres de tirant d'eau et de 5 kilomètres de long, qui rendra le bassin compris entre Arles et la mer accessible aux plus grands navires.

La conception de ce projet n'est pas absolument neuve ; elle remonte à Marius ; cent deux ans avant l'ère chrétienne, afin d'approvisionner son armée, d'aguerrir ses soldats et de les préparer à vaincre les Teutons, qui menaçaient l'Italie, il leur faisait creuser, entre le Rhône et la mer, un canal qui a longtemps porté son nom et auquel la ville d'Arles a dû, sous la domination romaine, sa splendeur et son titre de Rome gauloise. Après vingt siècles d'oubli, l'œuvre de Marius va renaître, ranimer la navigation du Rhône et apporter un nouvel

élément de prospérité à ces régions favorisées de la Provence.

Ce serait sortir du cadre exclusivement technique dans lequel nous devons nous renfermer, que de tenter une appréciation des conséquences économiques et politiques d'un travail de cette importance.

§ 5. — Ouvrages d'art divers.

Indépendamment des ouvrages cités plus haut, les travaux hydrauliques en comportent un grand nombre d'autres très-importants, et d'une exécution souvent difficile. Plusieurs de ces ouvrages ont été l'objet de perfectionnements remarquables. Nous pouvons citer les exemples suivants:

Pont-canal de l'Albe. — Ce pont, situé sur le canal des houillères de la Sarre, offre une application très intéressante de la tôle, qui constitue toute sa superstructure; les culées et les piles seules sont en maçonnerie. L'emploi du métal a permis d'obtenir une étanchéité parfaite, de réduire au minimum la hauteur de l'ouvrage, et de diminuer, en même temps, dans une proportion considérable, le relief des remblais dans la traversée de la vallée, ce qui a représenté une économie d'environ 200,000 francs. Ce pont a une longueur totale de 47^{m}60, divisée en trois travées; celle du milieu a 17 mètres et les deux autres 12^{m}50. Sa largeur est de 11 mètres, comprenant une voie d'eau de 6^{m}80 et deux chemins de halage de 2^{m}10. Il a employé 168,740 kilogrammes de métal, soit 3,440 kilogrammes par mètre courant, sa charge normale étant de 19,680 kilogrammes par mètre linéaire. La dépense s'est élevée à 148,000 francs, soit 2,060 francs par mètre.

Siphon de Mittersheim.— Pour maintenir à un niveau convenable les eaux des réservoirs dans les vallées de montagne, exposées à des crues subites et violentes, on est obligé d'établir des déversoirs de superficie encombrants et coûteux ; on a

proposé plusieurs fois de leur substituer des siphons qui, sous un volume bien moindre, permettent de débiter une masse d'eau d'autant plus considérable, que la différence est plus grande entre le niveau du réservoir et l'orifice inférieur du siphon. La difficulté est d'amorcer ces appareils. Elle a été résolue de la manière la plus ingénieuse au réservoir de Mittersheim (canal des houillères de la Sarre), retenue importante dont la capacité est de 7 millions de mètres cubes. L'appareil est double et composé de deux parties entièrement semblables, mais indépendantes ; il suffira d'en décrire une moitié. Le siphon se compose d'un tuyau en fonte de 0^m70 de diamètre, convenablement recourbé ; à côté se trouve l'amorceur ou petit tuyau de 0^m15 de diamètre : l'orifice supérieur de ce tube auxiliaire affleure le niveau normal de la retenue ; l'orifice inférieur plonge ainsi que celui du siphon dans une bâche constamment pleine d'eau. Les points culminants des deux tubes sont en communication directe par un petit branchement. Voici maintenant comment, au moyen de cette addition, le siphon s'amorce automatiquement : aussitôt que le niveau de la retenue s'élève de 0^m005 au-dessus de la hauteur voulue, l'eau commence à s'écouler dans l'amorceur ; son mouvement entraîne alors tout l'air contenu dans la partie supérieure et dans le siphon, où le liquide ne tarde pas à s'engager et à se déverser à raison de 7 mètres cubes par seconde, dès que la dénivellation atteint 0^m05. Quand la crue cesse, les mêmes phénomènes se reproduisent dans l'ordre inverse, et le siphon se désamorce de lui-même.

Vanne Chaubart. — On peut encore citer parmi les combinaisons nouvelles, appelées à rendre d'utiles services dans l'hydraulique pratique, la vanne de M. Chaubart. Cet appareil se compose d'une vanne automobile appuyée sur deux tourillons cylindriques horizontaux et immobiles, sur lesquels elle peut en quelque sorte rouler. La courbe directrice de la surface cylindrique de roulement est calculée de manière qu'on

peut obtenir, soit un niveau constant de la retenue, soit un débit constant à l'orifice inférieur.

Portes en tôle du canal Saint-Maurice. — Les portes d'écluse sont construites, tantôt en bois, tantôt en métal; la question est encore débattue. Les portes en tôle construites pour le canal Saint-Maurice (Marne canalisée) offrent un nouvel argument en faveur de l'emploi du métal : elles ne coûtent qu'un cinquième en sus de ce qu'auraient coûté des portes en bois établies dans des conditions identiques. Par la simplification des assemblages et l'emploi exclusif des tôles et des fers spéciaux du commerce, une économie de plus d'un tiers a été réalisée sur le prix des anciennes portes métalliques. Ce nouveau type a déjà reçu 54 applications diverses à des écluses de 5m20 à 12 mètres de large.

§ 6. — Traction des bateaux.

Le problème de la navigation intérieure offre un second point de vue non moins important que celui auquel se rapportent les indications précédentes : il ne suffit pas de disposer d'un cours d'eau à régime convenable, il faut encore savoir l'exploiter avantageusement; ici le bon emploi des moteurs animés ou mécaniques dont on dispose, l'économie du temps, l'amortissement rapide des capitaux ont la même valeur que dans toute autre industrie comparable, celle des transports sur route ou chemin de fer, par exemple. Sous ce rapport, notre navigation a encore beaucoup à faire : presque partout la traction des bateaux a lieu à bras d'homme ou avec des chevaux ou des bœufs, comme il y a des siècles. Les porteurs et remorqueurs à vapeur ne sont usités que sur les principales rivières; depuis quelques années un système nouveau, celui du touage sur chaîne noyée, fonctionne sur la Seine et sur le canal Saint-Martin; il doit être cité parmi les améliorations les plus remarquables réalisées dans

ces derniers temps par l'industrie des transports. La chaîne employée aujourd'hui à ce service pèse 11 kilogrammes et coûte 6 francs 27 par mètre courant : elle supporte habituellement une tension de 4 à 5,000 kilogrammes. Les toueurs sont des bateaux pourvus d'une machine de 35 à 40 chevaux; elle commande un treuil sur lequel la chaîne s'enroule en passant sur le bateau, soutenue aux deux extrémités par des aiguilles mobiles, pourvues de poulies, qui facilitent beaucoup les manœuvres. L'avancement a lieu en raison de l'adhérence de la chaîne sur le fond de la rivière qui est égale à 0.70 ou 0.80 du poids de la partie en contact. La vitessse moyenne est de 0m40 à 0m45 par seconde. Dans les parties où il y a peu de courant, le toueur remonte huit bateaux chargés de 200 à 250 tonneaux. Le nombre des voyages qu'un bateau peut faire dans un temps donné est augmenté par le touage dans le rapport de 3 à 2. Le prix de traction est moindre que par tout autre système mécanique.

Système Bouquié. — Le système du touage par convois n'est pas praticable sur les canaux ni sur les rivières canalisées qui ne sont pas pourvues, comme la Seine, d'écluses de 100 mètres de longueur, où tout un train peut se garer. On a cherché le moyen de rendre le touage applicable à la navigation par bateaux isolés. M. Bouquié a résolu cette difficulté. Son moteur est une locomobile qui met en mouvement l'arbre d'une poulie à mâchoires mobiles, faisant saillie sur le flanc gauche du bateau. Cette poulie est embrassée par la chaîne sur le tiers environ de sa circonférence, au moyen d'une petite poulie de tension, et c'est par son intermédiaire que l'avancement a lieu. Tout ce mécanisme est porté sur un châssis mobile que l'on peut transporter d'un bateau à un autre. Les manœuvres de croisement des bateaux et de passage des écluses s'effectuent avec la plus grande facilité. Le système Bouquié fonctionne, depuis plusieurs années, sur le canal Saint-Martin d'une manière très-satis-

D'excellents effets avaient été obtenus en France sur la Vire, lorsqu'on s'est décidé à en faire un essai sur la basse Seine, dont le chenal offrait tant d'obstacles et de périls. Encouragés par le succès, les ingénieurs ont étendu les digues, de proche en proche, de Rouen à l'estuaire de la Seine. Aujourd'hui des résultats considérables sont acquis. Le trajet entre le Havre et Rouen, qui prenait au moins quatre jours, s'effectue en huit ou dix heures par les remorqueurs, ou par le touage à la remonte, et en une marée ou deux au plus à la descente. Le tonnage des bateaux admis à Rouen, qui ne dépassait pas 200 tonneaux, a doublé en moyenne et s'est élevé jusqu'à 700 tonneaux. Le prix du fret sur la rivière est descendu de 10 à 5 francs par tonneau. Dans une notice récente, la chambre de commerce de Rouen évaluait à 3,500,000 francs l'économie annuelle que les travaux d'endiguement de la basse Seine procurent au commerce et à la navigation. Ces beaux résultats ont été obtenus au prix d'une dépense de 1,830,946 francs. Mais ils ne se sont pas bornés à l'amélioration du fleuve, qui met la capitale de la France en communication avec l'océan. Dans les intervalles existant entre les digues et les anciennes rives, des alluvions se sont déposés; ils forment aujourd'hui 8,600 hectares d'excellentes prairies, dont la valeur totale représente au moins 21,500,000 francs. Il est certainement peu de circonstances où la valeur rémunératrice des travaux publics se mesure par des chiffres aussi éloquents.

Les travaux de la basse Garonne offrent un second exemple des bons effets que l'on peut espérer de la régularisation du cours des fleuves dans leur région maritime. Les conditions locales ne comportaient pas un ensemble aussi complet que sur la Seine. On s'est attaqué successivement aux parties défectueuses du fleuve, au moyen de digues longitudinales arasées à 2^{m}50 seulement au-dessus de l'étiage, afin de ne pas gêner l'introduction du flot. Avec ces digues et quelques coupures, on a modifié la configuration des rives de manière : 1° à

adoucir le passage trop brusque du courant de l'une à l'autre; 2° à réunir les eaux dans le chenal suivi par la navigation sur les points où elles se partageaient en deux bras; 3° à faire disparaître les élargissements trop considérables du lit, tout en lui conservant une section proportionnée au volume d'eau que peut recevoir la partie supérieure de la région maritime; 4° à rétablir la coïncidence entre les chenaux creusés par les courants de flot et de jusant.

Grâce à ces travaux, les plus grands navires de commerce remontent à Bordeaux sans difficulté; les paquebots transatlantiques de la ligne du Brésil ont pu s'y installer, et ils n'ont jamais été arrêtés par l'état des passes.

§ 3. — Inondations; réservoirs.

Les désastres occasionnés depuis quelques années par les inondations ne sont que trop connus, et la recherche des moyens de les prévenir est devenue l'objet des préoccupations les plus vives. On sait que ce fléau avait éprouvé nos prédécesseurs; ils ont exécuté, pour s'en garantir, des travaux considérables, tels que les levées de la Loire. Pendant un demi-siècle, depuis 1790, aucun accident sérieux n'était venu ébranler la confiance accordée à ces anciennes défenses, lorsque arrivèrent coup sur coup les inondations de 1846, 1856 et 1866. Pour ne citer que la seconde, on a évalué à 177 millions les pertes individuelles qu'elle a occasionnées, non compris 28 millions de dommages causés aux routes, levées et travaux de navigation. Les études entreprises à cette occasion ne pouvaient malheureusement aboutir qu'après de longues années consacrées à réunir et à analyser une masse énorme de documents relatifs aux conditions topographiques, météorologiques, géologiques, économiques des divers bassins; il fallait encore approfondir de nouveaux problèmes jusqu'ici négligés par la science hydraulique, et enfin appliquer ces connaissances à la rédaction de projets embrassant toute la

superficie de l'Empire. L'atlas de la carte et du nivellement de la Loire, exécuté de 1847 à 1862, qui figure à l'Exposition, peut faire apprécier en partie l'étendue de ces travaux préliminaires.

La lettre impériale du 19 juillet 1856 donnait à ces études une direction précise ; mais, à cette époque, un accord unanime ne pouvait guère s'établir que sur un point : la nécessité de protéger immédiatement les principaux centres de population contre le retour des désastres qu'ils venaient de subir. Au prix de 31 millions, 50 villes ont été entourées de travaux de défense, dont les inondations de 1866 n'ont pas tardé à éprouver l'efficacité. L'étude de la défense des vallées s'est poursuivie pendant cet intervalle ; des divers moyens proposés : digues insubmersibles, digues avec déversoirs, réservoirs, reboisement, il a été reconnu qu'aucun ne pouvait être l'objet d'une préférence exclusive et absolue, mais qu'ils devaient être combinés suivant les circonstances locales. On a dû renoncer, en beaucoup de circonstances, à mettre les vallées à l'abri de l'invasion des eaux d'une manière absolue ; ce qui est à craindre, d'ailleurs, c'est l'inondation subite et violente, comme celle qui se produit par la rupture des digues. Le séjour sur les terres d'eaux calmes et limoneuses est un bienfait pour beaucoup de cultures ; il ralentit la marche et diminue l'intensité des crues en aval. L'idée d'emmaganiser dans des réservoirs, construits vers le haut des vallées, la partie dommageable des crues, pour la laisser ensuite s'écouler après le danger passé, était assurément l'une des plus logiques et des plus séduisantes que l'on pût concevoir ; elle s'appuyait sur les exemples que nous fournit la nature elle-même, dans ces grands lacs qui servent de modérateurs et de régulateurs aux cours d'eau descendus des Alpes, comme les lacs de Genève et du Bourget sur le Rhône, comme les beaux lacs auxquels la Lombardie doit un régime hydraulique si favorable. Ces exemples avaient été mis à profit au temps de Louis XIV ; les digues de Pinay et de la

Roche, sur la Loire, au-dessus de Roanne, témoignent que nos prédécesseurs en avaient compris toute la portée. Les intérêts de la défense des vallées pourraient d'ailleurs se concilier avec ceux de l'agriculture et de l'industrie, en réservant pour leur usage une portion de la capacité des réservoirs.

Avant d'entreprendre un ensemble de travaux gigantesques, l'administration a voulu toutefois s'éclairer par l'expérience. Ce n'est pas que la France ne possède déjà un grand nombre d'ouvrages analogues. Nos canaux à point de partage sont pourvus depuis longtemps de réservoirs très-vastes qui influent sensiblement sur le régime des rivières. Plusieurs ont été construits dans ces dernières années. On peut citer : le réservoir de Montaubry, sur le canal du Centre, avec digue en terre de 16^{m}58 de hauteur ; il contient 5 millions de mètres cubes d'eau ; le réservoir des Settons qui sert à l'alimentation de l'Yonne, où la navigation a lieu par éclusées ; il contient 22 millions de mètres cubes d'eau, retenus par une digue en maçonnerie de 18 mètres de haut. Mais les nouveaux réservoirs doivent fonctionner dans des conditions différentes : le premier spécimen établi est celui du Furens, au-dessus de Saint-Étienne (Loire) : il appartient à un système de travaux qui ont un triple objet, savoir : 1° mettre la ville de Saint-Étienne à l'abri des inondations ; 2° alimenter d'eau potable cette ville qui compte 100,000 habitants et pourvoir aux besoins de son service municipal ; 3° assurer en tout temps aux nombreuses usines, situées sur le Furens, une force hydraulique suffisante et supprimer les chômages.

Pour satisfaire à ces diverses destinations, un barrage en maçonnerie de 50 mètres de hauteur a été construit au point le plus étroit de la vallée du Furens, un peu au-dessus du village de Rochetaillée ; le site choisi présente une disposition exceptionnellement favorable : un massif de rocher s'avance en travers de la vallée et la réduit à un étroit défilé, de manière que la longueur de la digue en couronne n'est que de

100 mètres. Elle peut retenir un cube de 1,600,000 mètres d'eau; une hauteur de 5m50 correspondant à un cube de 400,000 mètres reste toujours vacante pour emmagasiner la portion dommageable d'une crue; le reste forme une réserve pour l'alimentation de la ville et des usines.

La forme du barrage a été étudiée avec le plus grand soin. Le système comprend, en outre, plusieurs ouvrages accessoires, dont les principaux sont les suivants : 1° un canal latéral au réservoir qui, en temps ordinaire, conduit directement à l'aqueduc alimentaire de la ville les eaux recueillies aux sources du Furens; 2° un système de ventellerie placé à l'origine du réservoir, au moyen duquel on peut régler à volonté le volume d'eau à envoyer dans le canal ou dans le réservoir, de manière à protéger Saint-Étienne contre les inondations, et à emmagasiner les eaux dont la quantité dépasse les besoins immédiats de la consommation ; 3° à l'issue du réservoir, un premier tunnel percé dans le rocher, en dehors de la digue, pour évacuer les eaux emmagasinées dans la tranche supérieure du réservoir, dès qu'une crue dangereuse est passée ; 4° un second tunnel, à un niveau très-inférieur au premier, conduisant en temps de sécheresse les eaux du réservoir à un puisard, d'où elles peuvent se rendre à volonté, soit dans le lit du Furens, pour alimenter les usines, soit dans l'aqueduc souterrain de la ville.

En manœuvrant convenablement les vannes et robinets placés aux divers orifices, les fonctions multipliées du réservoir se trouvent remplies de la manière la plus régulière et la plus satisfaisante.

Si vaste que soit l'ensemble des travaux destinés à mettre le pays à l'abri des désastres des inondations, il serait téméraire de prétendre que l'on parviendra jamais à détourner complétement les dangers dus à des phénomènes naturels aussi grandioses ; on doit éviter par-dessus tout d'inspirer aux populations une fausse sécurité. Mais les études du service des inondations, entre autres résultats considérables, en ont

déjà produit un, dont il serait injuste de méconnaître l'importance. grace aux progrès de la météorologie, par des observations pluviométriques et hydrométriques bien combinées dans le haut des vallées, il est possible d'annoncer plusieurs jours d'avance, à quelques centimètres et à quelques heures près, les crues de nos plus grands fleuves : une bonne organisation administrative, secondée par le concours de la télégraphie électrique et de signaux particuliers au besoin, permet d'avertir les communes menacées dans un délai suffisant pour prendre les mesures de défense nécessaires, enlever les récoltes et mettre à l'abri les biens et les personnes en péril. La vallée de la Meuse offre un excellent type de cette organisation, et il serait désirable de la voir adopter plus généralement.

§ 4. — Canaux.

Quand une rivière est tellement incorrigible qu'elle résiste à tous les moyens d'amélioration ordinaires, on la remplace par un canal. C'est ce qui a lieu en ce moment pour le bas Rhône; tous les essais tentés pour abaisser la barre de ce fleuve, à son embouchure dans la Méditerranée, ayant échoué, on s'est décidé à ouvrir une communication directe entre le golfe de Foz et la partie profonde située au-dessus de la barre du Rhône, au moyen d'un canal de 8 mètres de tirant d'eau et de 5 kilomètres de long, qui rendra le bassin compris entre Arles et la mer accessible aux plus grands navires.

La conception de ce projet n'est pas absolument neuve ; elle remonte à Marius ; cent deux ans avant l'ère chrétienne, afin d'approvisionner son armée, d'aguerrir ses soldats et de les préparer à vaincre les Teutons, qui menaçaient l'Italie, il leur faisait creuser, entre le Rhône et la mer, un canal qui a longtemps porté son nom et auquel la ville d'Arles a dû, sous la domination romaine, sa splendeur et son titre de Rome gauloise. Après vingt siècles d'oubli, l'œuvre de Marius va renaître, ranimer la navigation du Rhône et apporter un nouvel

1° Compression de l'air à l'aide de machines placées hors du souterrain;

2° Transmission de l'air comprimé jusqu'au fond de la galerie souterraine ;

3° Exploitation de la roche, enlèvement des déblais et construction du revêtement en maçonnerie.

Compression de l'air. — La compression de l'air s'effectue au moyen de forces hydrauliques très-puissantes qui, dans ces hautes régions, étaient restées sans emploi. Du côté de Bardonnèche, le torrent de Mélezet a un débit de 900 litres par seconde, au minimum. Ses eaux ont été dérivées et recueillies dans un réservoir placé à 45 mètres au-dessus du point où elles doivent agir; elles fournissent donc, dans les plus grandes sécheresses, une force de 40,500 kilogrammètres ou de 540 chevaux-vapeur. A Fourneaux, on a fait, dans l'Arc, une dérivation de 6,000 litres par seconde ; la chute étant de 5m60, on dispose, sur ce point, d'une puissance dynamique de 33,600 kilogrammètres ou de 448 chevaux-vapeur, que l'on pourrait augmenter considérablement au besoin, soit en prenant dans l'Arc un plus grand volume d'eau, soit en utilisant les eaux du torrent de Charmet.

Deux sortes de machines ont été successivement et même simultanément employées pour opérer la compression de l'air: l'une est le *compresseur à colonne d'eau* ou *à choc*, l'autre le *compresseur à pompe*. Le brevet d'invention de la première machine appartient à MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller; celui de la seconde, à M. Sommeiller seul.

Dans le compresseur *à colonne d'eau*, un tube métallique vertical de 0m62 de diamètre se remplit alternativement d'eau et d'air: lorsque l'eau s'écoule, l'air extérieur s'introduit dans le tube. Sa compression est opérée par le poids et le choc d'une colonne d'eau de 26 mètres de hauteur. L'air comprimé est refoulé dans un récipient où il est maintenu constamment à

proposé plusieurs fois de leur substituer des siphons qui, sous un volume bien moindre, permettent de débiter une masse d'eau d'autant plus considérable, que la différence est plus grande entre le niveau du réservoir et l'orifice inférieur du siphon. La difficulté est d'amorcer ces appareils. Elle a été résolue de la manière la plus ingénieuse au réservoir de Mittersheim (canal des houillères de la Sarre), retenue importante dont la capacité est de 7 millions de mètres cubes. L'appareil est double et composé de deux parties entièrement semblables, mais indépendantes ; il suffira d'en décrire une moitié. Le siphon se compose d'un tuyau en fonte de 0^m70 de diamètre, convenablement recourbé ; à côté se trouve l'amorceur ou petit tuyau de 0^m15 de diamètre : l'orifice supérieur de ce tube auxiliaire affleure le niveau normal de la retenue ; l'orifice inférieur plonge ainsi que celui du siphon dans une bâche constamment pleine d'eau. Les points culminants des deux tubes sont en communication directe par un petit branchement. Voici maintenant comment, au moyen de cette addition, le siphon s'amorce automatiquement : aussitôt que le niveau de la retenue s'élève de 0^m005 au-dessus de la hauteur voulue, l'eau commence à s'écouler dans l'amorceur ; son mouvement entraîne alors tout l'air contenu dans la partie supérieure et dans le siphon, où le liquide ne tarde pas à s'engager et à se déverser à raison de 7 mètres cubes par seconde, dès que la dénivellation atteint 0^m05. Quand la crue cesse, les mêmes phénomènes se reproduisent dans l'ordre inverse, et le siphon se désamorce de lui-même.

Vanne Chaubart. — On peut encore citer parmi les combinaisons nouvelles, appelées à rendre d'utiles services dans l'hydraulique pratique, la vanne de M. Chaubart. Cet appareil se compose d'une vanne automobile appuyée sur deux tourillons cylindriques horizontaux et immobiles, sur lesquels elle peut en quelque sorte rouler. La courbe directrice de la surface cylindrique de roulement est calculée de manière qu'on

à mesure des besoins, dans une conduite qui le porte jusqu'au fond des galeries. Cette conduite est formée de tuyaux de fonte de 0m20 de diamètre, assemblés bout à bout par des joints garnis de rondelles en caoutchouc; ils sont posés, en dehors du souterrain, sur des rouleaux en même métal que supportent des piliers en maçonnerie ; dans le souterrain, ils sont soutenus par des consoles en fer.

Cette conduite retient très-bien l'air comprimé; mise en charge et fermée, elle ne perd pas, en douze heures, plus de deux dixièmes d'atmosphères. Des précautions ont été prises pour qu'à l'extérieur du souterrain les dilatations dues aux variations de température n'y produisent pas de dislocations.

A une petite distance du fond de la galerie souterraine, la conduite en fonte se recourbe et vient se loger dans une niche pratiquée sur le côté: on y adapte des tubes mobiles en caoutchouc, revêtus d'une chemise en forte toile ; au moyen de ces tubes une partie de l'air comprimé est distribuée aux machines perforatrices, tandis qu'une autre partie est répandue dans la galerie pour son aérage.

Exploitation de la roche. — Les travaux s'exécutent dans l'ordre suivant. On ouvre d'abord, avec les machines perforatrices, une petite galerie d'attaque ; puis, on agrandit cette galerie préparatoire par les procédés ordinaires, c'est-à-dire par des opérations manuelles, sans emploi de machines. Enfin, lorsque l'excavation faite dans la roche présente les dimensions voulues, on pose les cintres de la voûte et l'on construit le revêtement en maçonnerie. Il y a donc toujours trois ateliers distincts qui se suivent: le premier pour l'ouverture de la galerie d'attaque, le deuxième pour l'élargissement de cette galerie, le troisième pour l'exécution du revêtement.

Il importe beaucoup que les travaux avancent aussi rapidement que possible, et pour cela il faut que le deuxième atelier ne soit jamais retardé par le premier; d'un autre côté, la vitesse d'exécution de la galerie d'attaque varie avec ses dimen-

sions et avec la dureté plus ou moins grande des roches que l'on rencontre. Aussi n'a-t-on pas toujours donné à cette galerie les mêmes dimensions. Elle avait, dans le principe, 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, ou 12 mètres carrés de section ; mais ensuite on a réduit sa largeur à 2m80 et sa hauteur à 2m70, de sorte que la section n'est plus que de 7 mètres carrés et demi.

Les machines perforatrices employées sur ces travaux sont l'objet d'un brevet appartenant à M. Sommeiller. Elles sont portées par un chariot en fer qui est placé sur des rails et que l'on fait avancer ou reculer, suivant le besoin, au moyen d'un appareil à air comprimé. Chaque machine ne fait mouvoir qu'un seul outil ou barre à mine. L'outil est lié à un piston qui le fait avancer plus ou moins rapidement ou reculer au besoin, et qui, lorsqu'il le faut, le pousse avec force contre la roche : un autre mécanisme lui imprime en même temps un mouvement de rotation. On perce avec cette machine des trous de 1m00 à 1m10 de profondeur et de 0m04 de diamètre. Un jet d'eau provenant d'un réservoir où l'eau est soumise à une pression de 5 atmosphères est dirigé sur le fond du trou pour le nettoyer.

Le chariot reçoit de sept à onze perforatrices, suivant les dimensions que l'on donne à la section de la galerie d'attaque. Le nombre des trous que l'on perce varie de 60 à 80; pour une petite section, il ne dépasse pas 60. On donne à quelques-uns de ces trous un diamètre exceptionnel de 0m09. Cette opération achevée, on recule le chariot pour le mettre à l'abri derrière des portes en chêne, puis on procède à l'explosion, qui se fait en plusieurs fois. On charge d'abord les trous les plus rapprochés du centre ; ceux qui ont 0m09 de diamètre restent vides ; ils n'ont pour but que d'affaiblir la roche, afin qu'elle cède plus facilement à l'effort latéral des gaz produits par l'inflammation de la poudre dans les autres trous. Au moment où l'explosion des mines se produit, on ouvre les robinets des tuyaux qui amènent l'air comprimé, de ma-

faisante, et il vient d'être installé sur la partie construite du canal de Suez.

En résumé, les prix de revient et les parcours journaliers, obtenus par les divers systèmes de traction de bateaux, sont à peu près les suivants :

	PRIX DE TRACTION par tonne kilométrique.	PARCOURS moyen par jour.
Traction à bras d'homme sur les canaux	0 f., 0077	11 k. 34
Traction par cheval — —	0, 0168 à 0,0197	22 49
— sur les rivières.	0, 0498	21 07
Traction par la vapeur. — Remorqueurs	0 016 à 0,036	
— Toueurs, demi-charge.	0, 0185	33 33
— — pleine charge	0 022	33 33

Les données précédentes sont extraites d'un mémoire inséré au deuxième volume, année 1863, des Annales des Ponts et Chaussées, où la question de la traction des bateaux est traitée d'une manière très complète. Ajoutons, avec les auteurs de ce mémoire, que, parmi les perfectionnements les plus indispensables et les plus faciles à réaliser pour cette industrie, il serait à désirer qu'on substituât aux modes actuels de chargement et de déchargement sur les quais de nos ports des procédés moins primitifs : on ferait aussi disparaître bien des incertitudes qui se traduisent en frais pour le commerce, en publiant pour les diverses voies navigables un livret officiel, analogue à celui qui a été rédigé pour la basse Seine.

CHAPITRE V.

FONDATIONS, OPÉRATIONS DIVERSES.

Parmi les difficultés que présente l'exécution des grands travaux, aucune ne surpasse celles qu'on rencontre dans l'éta-

blissement des fondations au milieu des eaux profondes et agitées, sur des fonds compressibles et mobiles; aucune n'exige, pour être surmontée, plus d'énergie et d'aptitudes variées : cependant, l'œuvre de tant de fatigues, d'intelligence et de dévouement reste ensevelie sous les eaux, ignorée de la foule et appréciée seulement d'un petit nombre d'hommes spéciaux. L'art des fondations a réalisé, dans ces derniers temps, de grands progrès; mais ils ne doivent pas faire perdre de vue les méthodes ingénieuses et fécondes auxquelles nos devanciers ont eu recours, et qui restent les plus usuelles ; méthodes d'autant plus remarquables, que les hommes éminents qui les ont créées, presque entièrement livrés à eux-mêmes, étaient dépourvus des ressources de toute sorte qu'offre aujourd'hui le concours de l'industrie privée. Nous n'avons pas à revenir ici, quoique l'Exposition en offre des applications remarquables, sur des systèmes connus depuis plus ou moins longtemps, tels que les caissons sans fond avec béton immergé, les caissons sans fond étanches, etc., ni sur plusieurs procédés plus spécialement usités dans les travaux maritimes et dont il est question ailleurs (blocs artificiels, puits foncés, pieux à vis). Quand il faut asseoir les bases d'une construction à plus de 10 mètres au-dessous des eaux, les systèmes anciens ne suffisent plus, ou, tout au moins, ils entraînent de grandes dépenses et ils exigent un temps qui n'est plus compatible avec l'impatience de jouir dont nous sommes assiégés. Un procédé très-ingénieux permet aujourd'hui de descendre à des profondeurs qui dépassent 20 mètres dans les terrains les plus difficiles ; c'est le système tubulaire, dont il va être question.

§ 1. — Fondations tubulaires et par l'air comprimé.

Ce système consiste à enfoncer dans le sol de grands tubes en fer ou en tôle de 3 mètres environ de diamètre, que l'on vide peu à peu et qui descendent par l'effet de leur propre poids, accru d'une surcharge additionnelle, jusqu'à la ren-

contre d'un fonds suffisamment solide : on remplit alors ces tubes de béton et l'on s'établit sur leur sommet. Le déblai dans l'intérieur des tubes se fait à sec si le terrain est imperméable, et au scaphandre dans le cas opposé. M. le docteur Pott avait proposé de recouvrir le tube d'un tampon hermétiquement bouché et de faire le vide à l'intérieur ; la pression atmosphérique favorise l'enfoncement du tube et le vide intérieur aide à la rentrée des terres : les résultats obtenus par ce moyen n'ont pas été assez importants pour en généraliser l'emploi. Au contraire, en faisant intervenir l'air comprimé, suivant les procédés appliqués pour la première fois sur la Loire, par M. Triger, en 1840, on a créé un des systèmes de fondations les plus ingénieux et les plus sûrs, dont les applications se comptent aujourd'hui par centaines. Ces applications diffèrent entre elles principalement par la manière dont se font le lestage du tube, l'extraction des déblais, le règlement de la descente, et par la disposition des écluses à air.

Le poids du tube seul étant insuffisant pour faire équilibre au frottement de ses parois, à la sous-pression de l'eau dans laquelle il est plongé et à la pression de l'air intérieur, il faut, pour obtenir son enfoncement, ajouter une surcharge. Dans les premiers essais, cette surcharge était obtenue au moyen de rails posés directement sur le sommet de l'appareil ; il fallait les déplacer toutes les fois qu'on enlevait l'écluse pour allonger le tube ; c'était une dépense et une perte de temps qu'on a su éviter par divers moyens.

Au pont de Bordeaux, où la nature variable du terrain rendait dangereuse l'action d'une surcharge permanente, les tubes ont été chargés au moyen d'un joug horizontal sur les extrémités duquel agissaient les tiges de deux presses hydrauliques, fixées invariablement et lestées sur les échafaudages : par ce moyen, on a pu régler très-facilement la charge du tube suivant la consistance du sol et les autres circonstances accidentelles, telles que les marées et les crues du fleuve. Dans d'autres cas, on a établi à une petite hauteur au-dessus du

SECTION VI

PERCEMENT DE L'ISTHME DE SUEZ

PAR M. E. BAUDE.

Le percement de l'isthme de Suez sera dans quelques mois un fait accompli ; on regrette de ne pouvoir étudier sous ses divers aspects une œuvre présentant ce caractère de grandeur, appelée à introduire dans les habitudes du commerce maritime des modifications si avantageuses et si profondes, à développer et à concentrer de plus en plus dans ce bassin de la Méditerranée, qui lui a servi de berceau, le foyer de notre civilisation moderne. Abréger de plus de moitié la distance qui sépare les ports de l'Europe de ceux de l'extrême Orient (1),

(1) Le tableau suivant en dira plus que de longs commentaires ; on a choisi Bombay comme objectif ; ce port semble appelé, en effet, à devenir le principal entrepôt du commerce de l'Orient, quand sera terminé le réseau, aujourd'hui très-avancé, des chemins de fer qui le relient à toutes les parties des possessions anglaises dans l'Inde.

PRINCIPAUX PORTS D'EUROPE ET D'AMÉRIQUE.	DISTANCE JUSQU'A BOMBAY		DIFFÉRENCE en faveur DE SUEZ.
	PAR SUEZ	PAR L'ATLANTIQUE	
	lieues.	lieues.	lieues.
Constantinople	1,800	6,100	4,300
Malte	2,062	5,800	3,738
Trieste	2,310	5,950	3,610
Marseille	2,374	5,650	3,276
Cadix	2,224	5,200	2,976
Lisbonne	2,500	5,350	2,850
Bordeaux	2,800	5,650	2,850
Le Havre	2,824	5,800	2,976
Londres	3,100	5,950	2,850
Liverpool	3,050	5,900	2,850
Amsterdam	3,100	5,950	2,850
Saint-Pétersbourg	3,700	6,550	2,850
New-York	3,761	6,200	2,439
Nouvelle-Orléans	3,724	6,450	2,726

La construction du pont de Kehl a marqué plusieurs progrès importants dans l'histoire des fondations par l'air comprimé ; les piles de ce pont ont été descendues à 20 mètres au-dessous de l'étiage du Rhin ; elles sont massives et non plus formées de simples tubes comme les précédentes ; la chambre de travail est un grand caisson en tôle, dont la superficie occupe toute l'aire de la pile ; sur son plafond repose directement le massif de maçonnerie qui se construit à l'air libre à mesure que la pile descend plus ou moins rapidement, suivant les nécessités du lestage. Sur ce plafond s'élèvent trois tubes ; celui du milieu s'ouvre à l'air libre et contient une drague verticale qui puise au fond du fleuve les graviers que les ouvriers placés dans la chambre de travail détachent des bords et poussent constamment vers elle ; elle les élève et les déverse dans des chalands par les moyens ordinaires. Les deux autres tubes servent alternativement au passage des ouvriers et la chambre d'équilibre se transporte de l'un à l'autre, chaque fois que, la pile descendant, il faut allonger les tubes. Ainsi, aucun sassement n'est nécessaire pour l'extraction des déblais. Le système du pont de Kehl a été l'objet de nombreuses imitations ; aux ponts de la Voulte, de Rovigo, d'Arles, de Saint-Gilles, de Kœnigsberg, etc.

Dans leur mouvement de descente, les piles sont exposées à s'éloigner de la verticale et il faut pouvoir les y ramener à chaque instant ; ce résultat s'obtient au moyen de verrins montés sur les échafaudages, qui commandent des tiges de suspension fixées au bas du caisson ou du tube et suivent son mouvement de descente ; en réglant convenablement la tension de ces tiges, on maintient le caisson dans la position verticale.

§ 2. — Dragages.

Parmi les opérations préliminaires que comportent les travaux de fondation, le dragage a souvent un rôle important : la drague sert à enlever les couches compressibles et à mettre

à nu le terrain solide sur lequel les fondations doivent s'élever ; elle est aussi le plus énergique instrument que l'on puisse appliquer aux travaux d'entretien et d'approfondissement des chenaux navigables des rivières, des ports et des rades.

M. Castor a exposé les dessins des divers types de dragues qu'il a employées dans ses nombreuses entreprises et qu'il a sans cesse perfectionnées, depuis les petites dragues de la Seine qui n'extrayaient en 1840 que 200 mètres cubes de déblai par jour à raison de 2 francs le mètre, lesquelles ont fait place à d'autres extrayant 1,000 mètres au prix de 0 fr. 80 c., puis 1,500 mètres au prix de 0 fr. 40 c., jusqu'aux grandes dragues de dérochement du port de Boulogne. L'action de ces dragues a été combinée avec celle de machines élévatoires et de grues à vapeur, simples et ingénieuses, au moyen desquelles on opère très-économiquement le transbordement des produits du dragage sur chemin de fer : ces produits sont ordinairement des sables ou graviers, propres à la confection du ballast ou des remblais ; on a pu souvent réaliser par ces appareils un double avantage, améliorer les rivières et éviter, le long des chemins de fer, les emprunts qui créent des marécages au moins stériles.

M. Mauser, ingénieur autrichien, a exposé un beau modèle d'une drague à vapeur de 40 chevaux, construite à Trieste et destinée aux ports de l'Adriatique. C'est sur l'emploi des dragues qu'est fondée l'organisation actuelle des travaux de l'isthme de Suez ; les ingénieurs et entrepreneurs de la Compagnie universelle ont fait faire à l'art du dragage les progrès les plus considérables.

On doit citer encore, parmi les grands outils destinés à seconder le travail des dragues, le poinçon à vapeur, employé à des fouilles sous-marines en rocher pour l'approfondissement du canal d'Arles à Bouc ; c'est une application intéressante du principe du marteau-pilon.

§ 3. — Pilotage.

L'application de la vapeur au battage des pieux a été réalisée depuis longtemps par l'emploi de machines ingénieuses, mais lourdes et dispendieuses. On a réussi à exécuter cette opération avec beaucoup d'économie et de simplicité, en installant sur une plate-forme mobile sur rail une sonnette à déclic ordinaire, commandée par une locomobile. L'avantage de cette disposition s'est manifesté par des chiffres significatifs résumés ci-dessous et recueillis au port de Toulon :

	SONNETTE MANŒUVRÉE	
	à bras.	à vapeur.
Prix de revient de battage d'un pieu....	11 fr. 05 c.	4 fr. 25 c.
Nombre de pieux placés dans le même temps..	1 »	2 37
Nombre de coups battus par heure.....	16 à 18	100 à 110

Ces dispositions ont reçu des imitations innombrables ; elles sont aujourd'hui généralement adoptées.

Deux maisons anglaises ont envoyé à l'Exposition des sonnettes à vapeur beaucoup plus maniables que les anciennes : ces deux appareils sont pourvus d'une chaîne sans fin, douée d'un mouvement continu, qui agit sur le mouton ; dans la sonnette de MM. Sissons et White de Hull, celui-ci est muni en arrière d'une queue qui s'engage dans les vides des maillons de la chaîne, ou les quitte à volonté, et qui fait partie d'un mécanisme de déclic, manœuvré d'en bas par une corde : on obtient ainsi le mouvement alternatif du mouton. Les exposants annoncent que toute la machine, y compris son moteur à vapeur, ne pèse que 6 tonnes ; elle n'occupe avec sa plate-forme qu'un carré de 2m10c de côté : le mouton donne 12 coups par minute en tombant d'une hauteur de 1m50c.

La sonnette de MM. Eassie et Cie présente un aspect général assez semblable à la précédente ; on a cherché à éviter dans cet appareil le frottement du mouton sur ses glissières en faisant passer la chaîne par une poulie de renvoi, dans la verticale du centre de gravité du mouton ; le déclanchement s'opère automatiquement par un arrêt fixé à la hauteur convenable. M. Castor a aussi exposé les dessins des sonnettes à vapeur qu'il a employées aux travaux de Perrache et d'Argenteuil.

M. Camuzat, serrurier à Vincennes, a réalisé quelques améliorations de détail intéressantes ; il a substitué aux sabots de pieux en fer à branches des sabots en tôle qui sont plus légers, garnissent mieux la pointe des pieux et les empêchent de s'écraser. Les pieux à vis de M. Mitchell sont toujours très appréciés dans les travaux de fondation.

§ 4. — Terrassements ; opérations diverses ; outillage.

Sous ce titre, viendraient se ranger les sondes, les pompes d'épuisement, les appareils pour levage et bardage des matériaux, les outils, échafaudages et machines employés aux travaux de terrassement, de maçonnerie, de charpente et de grosse serrurerie, si la plupart de ces objets n'avaient été étudiés dans d'autres rapports. Il convient toutefois de rendre hommage, en passant, aux services, chaque jour plus nombreux, rendus par les machines à vapeur locomobiles sur les chantiers ; pilotages, épuisements, levages ; ces machines s'appliquent à tous les travaux, et leur introduction a réalisé un progrès considérable aujourd'hui apprécié partout. Nous n'aurons plus qu'à rappeler un petit nombre de faits isolés ne se rattachant pas directement à d'autres sujets traités dans ce rapport.

Modifier la configuration naturelle du sol à sa superficie, pour la rendre propre à la circulation des véhicules de toute sorte, tel est un des principaux objets de l'art de l'ingénieur,

et l'un des éléments les plus considérables des frais de premier établissement des voies de communication. Cet élément entre, par exemple, pour environ 78,000 francs en moyenne dans le prix de revient kilométrique des chemins de fer, et ce n'est qu'au moyen d'études longues et patientes, dirigées par une profonde expérience, qu'on parvient à en réduire l'importance.

On se préoccupe toujours de trouver des machines capables d'effectuer avec économie dans les terrassements les travaux de fouille et charge des déblais. Les tentatives faites dans ce sens sont déjà nombreuses. Jusqu'ici les machines de terrassement n'ont pas réussi à l'emporter sur le travail manuel ; la contexture du sol est presque toujours trop variable pour que l'habileté personnelle de l'ouvrier terrassier n'influe pas dans une large mesure sur la manière de l'attaquer ; c'est seulement dans les sols très-homogènes, comme ceux sur lesquels on applique habituellement les dragues, que cette substitution pourrait se produire avantageusement. Nous n'avons pas à revenir sur ce qui a été dit plus haut des grandes expériences qui se poursuivent à Suez. La fabrication des outils de terrassement ordinaires s'est d'ailleurs notablement améliorée ; elle a profité des progrès de la métallurgie ; les produits de la maison Limouzin frères la représentaient avantageusement à l'Exposition.

Les travaux de mine et d'attaque des roches dures appartiennent à la classe 47.

La question du chargement et du transport des déblais joue dans les terrassements un rôle trop considérable pour que les recherches des inventeurs ne soient pas souvent dirigées dans ce sens; des types spéciaux de voies de fer et de locomotives ont été étudiés pour ce service. On a employé dernièrement dans quelques grandes tranchées en terrains maniables un procédé ingénieux ; il consiste à entamer la tranchée comme un souterrain au moyen d'une galerie et de puits percés sur son axe, espacés convena-

jour, on a même été jusqu'à 2,600 mètres. Les coques sont en fer et ont 33 mètres de long sur 8m26 de large: elles tirent 1m50. L'axe du tourteau supérieur est à 14m70 au-dessus de l'eau ; les godets ont une capacité de 400 litres.

Les couloirs ont une section demi-elliptique, leur largeur est de 1m50 ; ils sont consolidés par deux poutres à larges treillis qui reposent, vers le tiers de leur longueur, sur un chaland spécial en fer par l'intermédiaire d'un échafaudage articulé. Cet ensemble est rendu solidaire de la drague et contribue à la rendre extrêmement stable, malgré sa hauteur. Une chaîne sans fin munie de palettes facilite le mouvement des déblais ; deux pompes rotatives installées sur la drague versent le supplément d'eau nécessaire à leur entraînement.

Ces machines exécutent le creusement du canal dans toutes les parties où la hauteur des berges permet l'emploi des couloirs : telle est la traversée des lacs Menzaleh et Ballah.

4° Dix-huit appareils élévateurs employés dans les parties du canal où le terrain est trop élevé pour les dragues à long couloir: ces machines sont encore une innovation très-remarquable.

Chacune d'elles consiste en deux poutres en fer à treillis de 45 mètres de longueur, placées perpendiculairement à l'axe du canal et portant une voie de fer inclinée à 0m23 environ; elles reposent, d'une part, sur un chemin de fer construit sur la berge par l'intermédiaire d'un chariot mobile, d'autre part, sur un chaland à flot; elles dépassent leur premier point d'appui de 20 mètres et le second de 8 mètres; toutes les attaches sont articulées de manière à laisser le jeu nécessaire aux oscillations auxquelles les appareils sont exposés. Ils peuvent déverser les déblais à 12 mètres au-dessus de l'eau.

Sur les rails roule un chariot mis en mouvement au moyen de chaînes commandées elles mêmes par un moteur à vapeur fixé à l'appareil. La manœuvre se fait de la manière suivante: le chariot est amené au bas de sa course, au-dessus d'un bateau portant les caisses pleines de déblai ; une de ces caisses

par mètre courant. Ce n'est pas cependant une raison pour renoncer à cette solution quand des intérêts de premier ordre sont en jeu ; les nombreux spécimens des systèmes de percements souterrains ou d'attaque des roches dures présentés à l'Exposition Universelle prouvent que l'on en comprend plus que jamais l'importance. Celui qui a reçu l'application la plus grandiose fonctionne aux pieds des Alpes : le tunnel du mont Cenis comptera au nombre des merveilles de l'industrie humaine. La pensée de percer un souterrain de 13 kilomètres de longueur sans puits intermédiaires, ne pouvait être réalisée que par des moyens extraordinaires, en rapport avec des difficultés qu'on n'avait jamais abordées ; on sait que c'est par l'emploi de l'air comprimé au moyen des forces hydrauliques fournies par les torrents des Alpes que les appareils de forage sont mis en mouvement, et que cet air, après avoir servi au travail des outils, est employé à la ventilation des chantiers. Ce système a fait ses preuves ; plus de la moitié du tunnel est percée ; les bancs de roches les plus résistants ont été traversés, tout permet d'espérer qu'avant trois ans la nouvelle voie épargnera aux voyageurs entre la France et l'Italie une ascension de 1,000 mètres, et dix heures de fatigues et quelquefois de dangers.

Les appareils applicables à la construction des tunnels, appartenant presque tous à la classe 47, nous n'avons plus à mentionner que le modèle des cintres métalliques employés par M. Rcziha, en Allemagne, et celui du tunnel d'Ivry (Seine), sur le chemin de fer de Ceinture (rive gauche), qui a présenté des difficultés particulières et des dangers nombreux, à cause de l'existence de carrières abandonnées sous le tracé.

jour, on a même été jusqu'à 2,600 mètres. Les coques sont en fer et ont 33 mètres de long sur 8m26 de large: elles tirent 1m50. L'axe du tourteau supérieur est à 14m70 au-dessus de l'eau ; les godets ont une capacité de 400 litres.

Les couloirs ont une section demi-elliptique, leur largeur est de 1m50 ; ils sont consolidés par deux poutres à larges treillis qui reposent, vers le tiers de leur longueur, sur un chaland spécial en fer par l'intermédiaire d'un échafaudage articulé. Cet ensemble est rendu solidaire de la drague et contribue à la rendre extrêmement stable, malgré sa hauteur. Une chaîne sans fin munie de palettes facilite le mouvement des déblais ; deux pompes rotatives installées sur la drague versent le supplément d'eau nécessaire à leur entraînement.

Ces machines exécutent le creusement du canal dans toutes les parties où la hauteur des berges permet l'emploi des couloirs : telle est la traversée des lacs Menzaleh et Ballah.

4° Dix-huit appareils élévateurs employés dans les parties du canal où le terrain est trop élevé pour les dragues à long couloir: ces machines sont encore une innovation très-remarquable.

Chacune d'elles consiste en deux poutres en fer à treillis de 45 mètres de longueur, placées perpendiculairement à l'axe du canal et portant une voie de fer inclinée à 0m23 environ; elles reposent, d'une part, sur un chemin de fer construit sur la berge par l'intermédiaire d'un chariot mobile, d'autre part, sur un chaland à flot; elles dépassent leur premier point d'appui de 20 mètres et le second de 8 mètres; toutes les attaches sont articulées de manière à laisser le jeu nécessaire aux oscillations auxquelles les appareils sont exposés. Ils peuvent déverser les déblais à 12 mètres au-dessus de l'eau.

Sur les rails roule un chariot mis en mouvement au moyen de chaînes commandées elles mêmes par un moteur à vapeur fixé à l'appareil. La manœuvre se fait de la manière suivante: le chariot est amené au bas de sa course, au-dessus d'un bateau portant les caisses pleines de déblai ; une de ces caisses

de nombreux et difficiles problèmes qui ont été, en général, heureusement résolus; il a donné à l'art des constructions une impulsion telle que, à aucune époque, on ne pourrait sans doute rien constater de pareil à ce qui s'est fait de 1840 à 1867. L'intervention habituelle du fer dans les grands édifices restera une des principales conquêtes et un des caractères de cette période; ce métal seul a permis de vaincre des obstacles devant lesquels on était complétement arrêté, il y a peu d'années. Les progrès de la métallurgie contribueront à étendre ses applications; il rendra aux nations civilisées des services de plus en plus appréciés, mais il est appelé à un rôle plus considérable peut-être, en permettant l'exécution rapide et sûre des grandes voies de communication dans les régions les moins accessibles du globe: sous ce rapport, nous ne sommes encore qu'au début de l'ère des chemins de fer : l'Exposition Universelle de 1867, par les relations qu'elle aura contribué à nouer, aura certainement pour effet d'en hâter le développement.

La puissance de production des grands ateliers français les met en mesure de prendre une large part à ce mouvement général. Les documents fournis par les grandes usines, par MM. Schneider, Gouin, Cail, Martin, Joly, Rigolet, etc., nous montrent qu'elles ont contribué puissamment à l'exécution de nos travaux publics; mais, en même temps, dans les grands travaux des nations étrangères, elles ont dignement représenté l'industrie de notre pays. Il y a, dans ce nouvel ordre de produits, les éléments d'un commerce d'exportation considérable; à l'intérieur, des types très-économiques, appliqués même à nos chemins vicinaux, ont été essayés et sont susceptibles encore d'améliorations; les planchers, les combles et autres constructions incombustibles qui se préparent dans les mêmes ateliers, dont l'emploi ne s'est jusqu'ici répandu que dans Paris et quelques grandes villes, sont destinés à des applications de plus en plus fréquentes; ces raisons et beaucoup d'autres trop longues à énumérer classent les ateliers de

constructions métalliques parmi les industries vraiment nationales les plus dignes de la sollicitude publique.

Cette industrie nous offre encore un des exemples les plus remarquables d'application scientifique. En effet les métaux sont extrêmement chers, comparés à tous les autres matériaux; ils sont de plus extrêmement lourds; on ne peut les prodiguer: c'est seulement grâce aux procédés de calcul, découverts par les hommes de science, que les grands édifices métalliques peuvent s'élever avec l'économie et la hardiesse que nous admirons. Ce serait donc présenter un tableau bien incomplet de l'état présent de cette branche de l'art de l'ingénieur que de passer sans rendre un hommage mérité aux noms des hommes qui ont le plus contribué à créer la théorie moderne de la résistance des matériaux : Navier, Poncelet, Hodgkinson, Fairbairn, Clapeyron, etc.; rarement les catalogues et compte rendus d'expositions ont mentionné ces noms, mais parmi les produits exposés beaucoup portent l'empreinte bien manifeste, quoique tacite, de leur concours.

Les expériences faites avant l'établissement du palais du Champ de Mars sur les arcs d'essai de la grande galerie du travail, nous fournissent une nouvelle preuve de la confiance que peuvent inspirer les calculs de résistance faits avec le soin convenable; ces expériences ont, en effet, donné des résultats concordant de la manière la plus satisfaisante avec ceux annoncés par les formules de M. Bresse.

Dans les autres catégories de travaux, nous avons eu aussi à constater de notables progrès; dans la maçonnerie elle-même, l'emploi des ciments à prise lente est un fait de la plus grande importance; le perfectionnement de l'outillage, des systèmes de levage, de décintrement, de fondations, est constant.

La navigation intérieure se met en mesure de lutter courageusement avec les chemins de fer ; elle a encore beaucoup à faire, particulièrement en ce qui concerne le système d'ex-

ploitation des voies navigables : il y a là pour la France un intérêt de premier ordre.

En résumé, dans les cinq années qui se sont écoulées entre la dernière Exposition Universelle de Londres et celle de 1867, il y a eu à constater moins de faits considérables, au point de vue où nous sommes ici placés, que dans la période de 1857 à 1862 : cette dernière a coïncidé avec l'exécution des plus grandes lignes de chemins de fer du réseau européen, et cette circonstance suffit à expliquer la différence qui vient d'être signalée. Cependant beaucoup d'améliorations de détail ont été obtenues ; le mouvement des grands travaux est loin d'avoir atteint sa fin ; tandis que s'achève l'Exposition de 1867, trois immenses entreprises marchent rapidement vers leur terme : le canal de l'isthme de Suez, dont l'ouverture est annoncée pour la fin de 1869 ; le percement du mont Cenis et le chemin de fer du Pacifique, aux États-Unis, qui pourront être achevés dans un délai d'environ quatre ans ; entreprises poursuivies à travers des difficultés de toute nature avec une persévérance qu'on peut appeler héroïque. Qu'on cherche dans l'histoire un concours de circonstances analogues, on aura peine à le trouver ; il suffit à caractériser une époque ; et quel que soit le jugement de la postérité sur la nôtre, les promoteurs de ces grandes entreprises, en qui se personnifient son activité et son génie, peuvent l'attendre avec confiance.

---

le vice-roi d'Egypte furent révisées par arbitrage de S. M. l'Empereur des Français ; la compagnie a reçu, en exécution de la décision impériale, une indemnité de 84 millions en échange de l'annulation du décret qui assurait le recrutement de ses chantiers et de la cession au vice-roi d'Egypte du canal d'eau douce et des terrains qui avaient été concédés. La vente du domaine de l'Ouady a produit 6,600,000 francs, les placements de fonds ont rapporté 17 millions. Ces diverses opérations, accrues de quelques autres recettes, ont porté à 309,200,000 francs le total des ressources pécuniaires de la Compagnie au 30 juin 1867. Elle a cru devoir y ajouter un emprunt de 100 millions à émettre en obligations de 300 francs et y a été autorisée par l'assemblée générale du 1er août 1867; cet emprunt est aujourd'hui en partie réalisé. La Compagnie a encore en réserve une richesse considérable en terrains disponibles situés sur les bords du canal, dont la valeur s'améliore tous les jours, et dans son matériel, qui est entièrement construit en fer, et qui, dans l'espace des deux années pendant lesquelles il doit encore fonctionner, ne saurait subir de dépréciation bien considérable.

On est donc bien fondé à espérer qu'aucun nouvel obstacle ne viendra entraver la marche si nettement tracée des travaux, et que, avant la fin de 1869, un succès aussi grand que bien mérité viendra couronner cette entreprise, appelée à exercer une si grande influence sur l'avenir de l'ancien monde.

avoir remonté la vallée de l'Arc, affluent de l'Isère, elle la quitte pour s'élever sur le versant français des Alpes, franchit le faîte au col du mont Cenis, situé à plus de 2,000 mètres au-dessus du niveau de la mer, descend ensuite sur le versant italien, passe par la petite ville de Suse et entre dans les plaines du Piémont par la vallée de la Doire Ripuaire.

Lorsque le gouvernement sarde, en vue de relier plus intimement la Savoie à la capitale du royaume et de mettre en même temps Turin en relations plus faciles avec la France et les autres états de l'Europe occidentale, songea à faire étudier un chemin de fer dans cette direction, le tracé général de la nouvelle voie était indiqué par le tracé même de cette route, c'est-à-dire par la vallée de l'Arc en Savoie et par la vallée parallèle de la Doire Ripuaire en Piémont; le seul point à déterminer était celui où le massif des Alpes, qui sépare ces deux vallées et que le chemin de fer ne pouvait franchir comme la route, présentait le plus de facilité pour le percement d'un souterrain qui permettrait de passer de l'une à l'autre.

La traversée sous le mont Fréjus, situé notablement à l'ouest du mont Cenis, avait été indiquée dès 1840; elle avait été adoptée dans le premier projet de percement qui ait attiré sérieusement l'attention du gouvernement sarde, celui de M. Maus, ingénieur belge; et c'est en définitive suivant cette direction que s'exécute maintenant le souterrain désigné sous le nom de *Souterrain du mont Cenis.*

Ce souterrain a son origine dans la vallée de l'Arc, près du village de Fourneaux, et débouche dans la vallée du torrent de Rochemolle, affluent de la Doire, près du village de Bardonnèche. Sa longueur est de plus de 12 kilomètres.

Pour un percement à pratiquer à une profondeur de 1,600 mètres sous le point culminant de la montagne, il n'était pas possible d'ouvrir des puits; il fallait donc enlever tous les déblais et apporter tous les matériaux par les deux têtes. C'était là une sujétion qui, avec les moyens d'exploitation alors

usités, conduisait, pour un souterrain de cette longueur, à une durée d'exécution considérable, sans parler des difficultés d'aérage qui en étaient encore la conséquence. M. Maus avait proposé l'emploi d'une machine qui aurait découpé la roche en blocs faciles à détacher ensuite au moyen de coins ; la machine devait être mise en mouvement par des roues hydrauliques. Il espérait ainsi activer le travail, et, en supprimant l'emploi de la poudre, réduire considérablement les besoins de l'aérage. Mais de graves objections se présentèrent ; la transmission de l'action du moteur à des distances qui devaient finir par dépasser 6 kilomètres présentait des difficultés considérables.

La question était donc à l'étude lorsque trois ingénieurs piémontais : MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller firent dans un autre but des expériences sur une machine à comprimer l'air. Ces expériences ayant réussi, ces ingénieurs proposèrent d'employer comme moteur, pour le percement du mont Cenis, l'air comprimé par les chutes d'eau qu'offrait la contrée, en l'appliquant à des machines perforatrices qui feraient des trous de mine, et en l'utilisant en même temps à l'aérage.

Il convient toutefois de rappeler que, à la même époque, M. Bartlett, ingénieur anglais, attaché à l'entreprise du chemin de fer Victor-Emmanuel, appliquait un perforateur mécanique à l'exploitation d'un petit souterrain de ce chemin de fer; seulement, dans sa machine, les barres à mines étaient mises en mouvement par la vapeur que produisait une locomobile placée à l'extérieur; ces barres pouvaient frapper 300 coups par minute et décuplaient ainsi la rapidité du même travail fait à bras d'homme; mais la transmission de cette force était impossible à des distances quelque peu considérables, et le problème de l'aérage n'était pas résolu. Le système de MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller restait donc bien supérieur.

Une commission fut nommée pour soumettre ce système à des expériences directes. Elle les commença au mois d'avril 1857, et les résultats ayant été déclarés satisfaisants, le projet des trois ingénieurs fut adopté. Une loi en date du 15 août 1857

et l'un des éléments les plus considérables des frais de premier établissement des voies de communication. Cet élément entre, par exemple, pour environ 78,000 francs en moyenne dans le prix de revient kilométrique des chemins de fer, et ce n'est qu'au moyen d'études longues et patientes, dirigées par une profonde expérience, qu'on parvient à en réduire l'importance.

On se préoccupe toujours de trouver des machines capables d'effectuer avec économie dans les terrassements les travaux de fouille et charge des déblais. Les tentatives faites dans ce sens sont déjà nombreuses. Jusqu'ici les machines de terrassement n'ont pas réussi à l'emporter sur le travail manuel; la contexture du sol est presque toujours trop variable pour que l'habileté personnelle de l'ouvrier terrassier n'influe pas dans une large mesure sur la manière de l'attaquer; c'est seulement dans les sols très-homogènes, comme ceux sur lesquels on applique habituellement les dragues, que cette substitution pourrait se produire avantageusement. Nous n'avons pas à revenir sur ce qui a été dit plus haut des grandes expériences qui se poursuivent à Suez. La fabrication des outils de terrassement ordinaires s'est d'ailleurs notablement améliorée ; elle a profité des progrès de la métallurgie ; les produits de la maison Limouzin frères la représentaient avantageusement à l'Exposition.

Les travaux de mine et d'attaque des roches dures appartiennent à la classe 47.

La question du chargement et du transport des déblais joue dans les terrassements un rôle trop considérable pour que les recherches des inventeurs ne soient pas souvent dirigées dans ce sens; des types spéciaux de voies de fer et de locomotives ont été étudiés pour ce service. On a employé dernièrement dans quelques grandes tranchées en terrains maniables un procédé ingénieux ; il consiste à entamer la tranchée comme un souterrain au moyen d'une galerie et de puits percés sur son axe, espacés convena-

présence lorsqu'il s'agit de créer dans une ville un système d'alimentation d'eau ou d'y développer ceux existants. En effet, si les perfectionnements constants apportés dans les moteurs hydrauliques et surtout dans les machines à vapeur rendent leur emploi chaque jour plus avantageux, les progrès réalisés depuis quinze ou vingt ans dans les procédés des constructions hydrauliques permettent d'exécuter les grandes dérivations d'eau dans des conditions bien autrement économiques que l'on ne pouvait le faire autrefois. D'une part, les découvertes de notre illustre compatriote Vicat, en faisant connaître la nature intime des ciments et en conduisant à leur fabrication artificielle, ont développé rapidement l'emploi de cette matière qui, dans le bassin de la Méditerranée, va faire maintenant concurrence, comme prix même, aux meilleures chaux hydrauliques. D'autre part, les perfectionnements de l'art du fondeur permettent aujourd'hui de remplacer par des conduites en fonte, allant à 1m20 de diamètre et même au delà, les petits tuyaux en plomb de 2 ou 3 centimètres que les Romains ont employés quelquefois pour franchir, en conduite forcée, les vallées qu'ils traversaient cependant le plus généralement à l'aide de ponts-aqueducs monumentaux.

Mais, si ces considérations économiques ont contribué au développement si frappant et si remarquable des travaux d'alimentation d'eau dans ces dernières années, d'autres considérations dirigent avant tout les municipalités dans le choix du système à adopter pour cette alimentation. C'est en premier lieu la qualité des eaux, en second lieu la quantité.

Pour les eaux destinées aux services publics, la qualité est sans importance, et celles que l'on peut obtenir et distribuer dans les conditions les plus économiques sont les meilleures. Ce sont donc généralement les eaux de rivière. Il n'y a pas une grande importance, en effet, à ce que ces eaux soient plus ou moins troubles au moment des crues, plus ou moins souillées par les déjections des centres de population d'amont ou par celles de la ville même.

Mais la qualité de l'eau est capitale lorsqu'il s'agit de satisfaire aux besoins domestiques, à la boisson. Sous ce rapport, de bonnes eaux de source sont les meilleures ; elles présentent toujours, en effet, sur les eaux de rivière deux avantages importants : la limpidité et la fraîcheur, c'est-à-dire une température sensiblement constante, froide en été, chaude en hiver, et toute ville qui a dans son voisinage des eaux de cette nature les a toujours choisies sans hésitation. Mais peu de villes sont assez privilégiées pour trouver, à des distances qui permettent d'amener, sans de trop grandes dépenses, des eaux de source de bonne qualité et suffisamment abondantes pour fournir à tous les besoins d'un grand centre de population.

On ne peut donc que s'étonner des vives controverses qui se sont élevées au sujet de ces eaux et des eaux de rivière lorsqu'il s'est agi, dans ces dernières années, d'approvisionner Paris de l'eau exclusivement nécessaire à ses usages domestiques. En effet, l'administration municipale de la ville, convaincue de l'incontestable supériorité de bonnes eaux de source pour le service privé, n'avait pas hésité, tout d'abord, à décider l'établissement d'un double réseau de distribution, l'un, affecté aux eaux de source, c'est-à-dire au service privé, l'autre, exclusivement consacré au service public, chacun de ces réseaux comportant d'ailleurs un service haut et un service bas.

Cette belle et large solution sera très-certainement adoptée dans plus d'une capitale de l'Europe, où déjà elle est discutée.

On est frappé d'ailleurs du développement que prennent les besoins d'eau dans une ville, d'autant qu'ils sont mieux satisfaits, lorsqu'on considère les résultats d'une expérience récente. On parlait généralement, il y a peu d'années encore, de 200 litres d'eau en moyenne, par jour et par habitant, comme d'une quantité maxima avec laquelle on devait pourvoir à tous les besoins.

C'est en Amérique, où les nécessités du bien-être matériel ont pénétré dans les masses et où les moyens d'y satisfaire

une pression effective de 5 atmosphères, sous la charge d'une colonne d'eau fournie par un réservoir régulateur placé à une hauteur de 50 mètres. L'eau motrice s'introduit dans la machine par une soupape dite *d'alimentation*; elle s'écoule par une soupape dite *de décharge*. Ces deux soupapes sont mises en mouvement par un appareil à air comprimé qui les ouvre et les laisse retomber tour à tour.

Le compresseur *à pompe* consiste simplement en un cylindre horizontal de 0m57 de diamètre aux extrémités duquel sont adaptés deux tubes verticaux. Un piston enfermé dans le cylindre horizontal est animé d'un mouvement de va-et-vient que lui imprime une roue hydraulique. Ce piston, agissant sur une masse d'eau dans laquelle il est plongé, la pousse alternativement à droite et à gauche, de sorte qu'elle s'élève et s'abaisse tour à tour dans chacun des deux tubes verticaux. Lorsqu'elle s'abaisse, l'air extérieur s'introduit dans le tube par une soupape; lorsqu'elle s'élève, elle comprime l'air et le refoule dans un récipient où il est emmagasiné sous une pression effective de 5 atmosphères. Chaque compresseur à colonne d'eau peut comprimer en vingt-quatre heures 6,000 mètres cubes d'air, dont il réduit le volume au sixième, c'est-à-dire à 1,000 mètres cubes. Un compresseur à pompe donne, dans le même espace de temps, environ 600 mètres cubes d'air comprimé.

A Bardonnèche, on a établi dix compresseurs à colonne d'eau et vingt-huit compresseurs à pompe. Il y en a autant à Fourneaux; mais l'expérience ayant fait reconnaître la supériorité des compresseurs à pompe, on a renoncé à en employer d'autres, et aujourd'hui les compresseurs à colonne d'eau sont abandonnés; ils n'ont même jamais fonctionné à Fourneaux, où, pour créer une chute d'eau d'une hauteur suffisante pour les mettre en marche, il fallait commencer par élever une partie des eaux de l'Arc.

Transmission de l'air comprimé. — On emmagasine l'air comprimé dans des réservoirs en fer, d'où il passe, au fur et

à mesure des besoins, dans une conduite qui le porte jusqu'au fond des galeries. Cette conduite est formée de tuyaux de fonte de 0m20 de diamètre, assemblés bout à bout par des joints garnis de rondelles en caoutchouc; ils sont posés, en dehors du souterrain, sur des rouleaux en même métal que supportent des piliers en maçonnerie; dans le souterrain, ils sont soutenus par des consoles en fer.

Cette conduite retient très-bien l'air comprimé; mise en charge et fermée, elle ne perd pas, en douze heures, plus de deux dixièmes d'atmosphères. Des précautions ont été prises pour qu'à l'extérieur du souterrain les dilatations dues aux variations de température n'y produisent pas de dislocations.

A une petite distance du fond de la galerie souterraine, la conduite en fonte se recourbe et vient se loger dans une niche pratiquée sur le côté: on y adapte des tubes mobiles en caoutchouc, revêtus d'une chemise en forte toile; au moyen de ces tubes une partie de l'air comprimé est distribuée aux machines perforatrices, tandis qu'une autre partie est répandue dans la galerie pour son aérage.

Exploitation de la roche. — Les travaux s'exécutent dans l'ordre suivant. On ouvre d'abord, avec les machines perforatrices, une petite galerie d'attaque; puis, on agrandit cette galerie préparatoire par les procédés ordinaires, c'est-à-dire par des opérations manuelles, sans emploi de machines. Enfin, lorsque l'excavation faite dans la roche présente les dimensions voulues, on pose les cintres de la voûte et l'on construit le revêtement en maçonnerie. Il y a donc toujours trois ateliers distincts qui se suivent: le premier pour l'ouverture de la galerie d'attaque, le deuxième pour l'élargissement de cette galerie, le troisième pour l'exécution du revêtement.

Il importe beaucoup que les travaux avancent aussi rapidement que possible, et pour cela il faut que le deuxième atelier ne soit jamais retardé par le premier; d'un autre côté, la vitesse d'exécution de la galerie d'attaque varie avec ses dimen-

sions et avec la dureté plus ou moins grande des roches que l'on rencontre. Aussi n'a-t-on pas toujours donné à cette galerie les mêmes dimensions. Elle avait, dans le principe, 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, ou 12 mètres carrés de section ; mais ensuite on a réduit sa largeur à 2m80 et sa hauteur à 2m70, de sorte que la section n'est plus que de 7 mètres carrés et demi.

Les machines perforatrices employées sur ces travaux sont l'objet d'un brevet appartenant à M. Sommeiller. Elles sont portées par un chariot en fer qui est placé sur des rails et que l'on fait avancer ou reculer, suivant le besoin, au moyen d'un appareil à air comprimé. Chaque machine ne fait mouvoir qu'un seul outil ou barre à mine. L'outil est lié à un piston qui le fait avancer plus ou moins rapidement ou reculer au besoin, et qui, lorsqu'il le faut, le pousse avec force contre la roche : un autre mécanisme lui imprime en même temps un mouvement de rotation. On perce avec cette machine des trous de 1m00 à 1m10 de profondeur et de 0m04 de diamètre. Un jet d'eau provenant d'un réservoir où l'eau est soumise à une pression de 5 atmosphères est dirigé sur le fond du trou pour le nettoyer.

Le chariot reçoit de sept à onze perforatrices, suivant les dimensions que l'on donne à la section de la galerie d'attaque. Le nombre des trous que l'on perce varie de 60 à 80; pour une petite section, il ne dépasse pas 60. On donne à quelques-uns de ces trous un diamètre exceptionnel de 0m09. Cette opération achevée, on recule le chariot pour le mettre à l'abri derrière des portes en chêne, puis on procède à l'explosion, qui se fait en plusieurs fois. On charge d'abord les trous les plus rapprochés du centre; ceux qui ont 0m09 de diamètre restent vides; ils n'ont pour but que d'affaiblir la roche, afin qu'elle cède plus facilement à l'effort latéral des gaz produits par l'inflammation de la poudre dans les autres trous. Au moment où l'explosion des mines se produit, on ouvre les robinets des tuyaux qui amènent l'air comprimé, de ma-

nière à le répandre en grande quantité dans la galerie. A la faveur de cette injection, le travail de l'attaque peut être presque immédiatement repris ; mais, pour que la fumée soit promptement chassée du souterrain et ne gêne pas les ouvriers occupés aux travaux d'élargissement ou de revêtement et aux transports, on a été obligé d'établir, à chacune des têtes du souterrain, des cheminées d'aérage avec de puissants ventilateurs. Le courant d'air qui entraîne la fumée est rejeté dans la partie supérieure du souterrain par un plancher horizontal qui est placé à la hauteur des naissances de la voûte, et divise la section en deux étages, l'un pour les travaux, l'autre pour l'écoulement des gaz provenant des explosions.

L'air comprimé que l'on introduit dans le souterrain est très-pur et sans odeur; il est frais au moment où il se dégage, à cause de la détente qu'il éprouve en sortant des tuyaux aussi la température est-elle toujours moins élevée au fond de la galerie qu'à une certaine distance en arrière; à 300 mètres du fond environ, elle atteint son maximum, qui ne dépasse pas 28 degrés.

Les ouvriers sont divisés en trois escouades travaillant chacune huit heures sur vingt-quatre. Il faut à peu près huit heures pour le percement des trous d'une attaque, le chargement des mines, l'explosion et l'enlèvement des débris. On fait ordinairement, dans chaque galerie, trois explosions par jour.

Les vingt-huit compresseurs à pompe établis à chaque tête du souterrain produisent, en vingt-quatre heures, environ 16,800 mètres cubes d'air comprimé, ce qui est suffisant pour le travail journalier et pour l'aérage. On garde, de chaque côté, dans les récipients, une réserve d'environ 800 mètres cubes d'air sous la pression effective de 5 atmosphères.

§ 4. — Situation et marche des travaux.

Au 1er juillet 1867, la situation des travaux était la suivante :

	VERSANT NORD.	VERSANT SUD.	TOTAUX.
Galerie d'attaque :	mètres.	mètres.	mètres.
Longueur des parties exécutées.	2,752	4,357	7,109
Id. des parties restant à exécuter.....	3,358	1,753	5,111
TOTAUX.....	6.110	6,110	12,220
Parties du souterrain élargies, revêtues et complétement terminées.....	2,344	3,515	5,859
Parties non commencées ou non terminées.....	3,766	2,595	6,361
TOTAUX.....	6,110	6,110	12,220

On a donc fait à peu près la moitié du travail total; mais le percement étant beaucoup plus avancé du côté de l'Italie que du côté de la France, c'est d'après ce qui reste à faire sur le versant français qu'il faudrait calculer le temps nécessaire à l'achèvement des travaux. Or, du 1er juillet 1866 au 1er juillet 1867, la galerie d'attaque a été prolongée :

Sur le versant Nord, de.....	431 mètres.
Sur le versant Sud, de.....	886 mètres.
TOTAL.....	1,317 mètres. (1)

(1) MOUVEMENT ANNUEL DU PERCEMENT.

Années.	Bardonneche (Italie). — Mètres.	Modane (France). — Mètres.	Total. — Mètres.	Dépense. — Francs.
1857..... 1858.....	284 85	212 75	497 60	3,369,246
1859.....	263 35	132 75	369 10	1.630,753
1860.....	203 80	139 60	343 30	2.500,000
1861.....	170 »	193 »	363 »	3.000,000
1862.....	380 »	243 »	623 »	2.000,000
1863.....	426 »	376 »	802 »	3.500 000
1864.....	621 »	477 »	1.088 »	6.352.954
1865.....	735 30	488 40	1,223 70	5.592.738
1866.....	812 70	212 29	1.024 99	5.644.982

Soit 6,334m69 de percement et 33,699,973 francs de dépense, ce qui fait ressortir le prix moyen du mètre à 5,477 francs.

Ainsi, dans cet espace d'une année, la marche du percement a été deux fois plus rapide du côté de Bardonnèche que du côté de Fourneaux. Cela tient à la grande dureté des quartzites que l'on a traversés sur le versant Nord et dans lesquels on n'avançait guère qu'à raison de 0m50 à 0m60 par vingt-quatre heures; mais la roche étant maintenant de même nature des deux côtés, il est probable que l'on pourra désormais marcher avec une vitesse égale dans les deux galeries, c'est-à-dire avancer de 2m40 environ par jour sur chaque front d'attaque. A ce compte, il faudrait encore environ quatre ans pour achever le percement de la galerie sur le versant français et cinq ans pour terminer complétement le souterrain. Mais nous devons dire que, en raison de l'intérêt considérable que présente le prompt achèvement de ce grand ouvrage, la direction des travaux paraît décidée à poursuivre, sur le versant français, l'attaque venant de Bardonnèche, ce qui permettrait d'achever le percement dès la fin de l'année 1870; cette mesure est d'ailleurs basée sur l'absence d'eau d'infiltration qui a été presque complète jusqu'ici, et qui doit être notée comme une chance singulièrement favorable au succès des travaux.

L'achèvement de cette immense entreprise paraît donc maintenant assuré grâce à l'habileté et à l'esprit inventif des ingénieurs et particulièrement de M. Sommeiller, grâce à l'appui persévérant que lui a donné le Gouvernement italien, après l'initiative si hardie qu'en avait prise le Gouvernement du Piémont.

Son exécution aura exigé une douzaine d'années, y compris trois ans employés à des travaux préparatoires. En attendant, la grande lacune que le chemin de fer présente entre Saint-Michel et Suse va se trouver, dès à présent, remplie par la voie provisoire à fortes pentes que MM. Brassey et Fell établissent sur le bord de la route ordinaire, et qui passe, comme cette route, par le col du mont Cenis.

stallation générale du système ne présente rien d'ailleurs qu'il y ait lieu de signaler.

Saint-Étienne. — Bien que le réservoir du Furens, représenté à l'Exposition du Champ-de-Mars par un modèle des plus intéressants, soit destiné principalement à régler les crues de ce cours d'eau torrentiel et à assurer l'alimentation constante des usines inférieures, il appelle naturellement l'attention sur les travaux qui alimentent la ville de Saint-Étienne. En effet, il permet à cette ville d'y prendre, en cas de sécheresse, le complément d'eau qui peut lui être nécessaire et d'y faire des prises exceptionnelles et momentanées pour le lavage général de ses égouts.

Une dérivation d'eau constitue d'ailleurs la base normale de l'alimentation de cette ville. Le débit de cette dérivation, qui est au minimum de 17,000 mètres cubes par vingt-quatre heures pour une population de 100,000 habitants, résulte du produit de 250 à 300 sources captées parmi les sources du Furens, à 19 kilomètres de Saint-Étienne, au pied du mont Pilate. Le collecteur principal, aqueduc en maçonnerie de $1^{m}30$ de hauteur sur $0^{m}80$ de largeur, se développe sur la rive droite de la vallée du Furens, en longeant le réservoir où il complète, au besoin, son alimentation. L'ensemble des travaux de cette dérivation et du réservoir a coûté environ 4 millions.

Nous ne pouvons nous étendre davantage sur les travaux de cette nature exécutés en France ; nous n'avons indiqué que les plus importants ou les plus récents, ceux signalés à notre attention par l'Exposition du Champ-de-Mars; mais, nous l'avons dit, sous l'impulsion du gouvernement, toutes les villes de l'empire se préoccupent de cette question, en étudiant ou en exécutant les travaux qui doivent compléter une alimentation dont l'insuffisance résulte des besoins toujours croissants d'assainissement et de bien-être. *Marseille*, si magnifiquement dotée par l'aqueduc de dérivation des eaux de la Durance construit, il y a trente ans, pour satisfaire à la fois, par une

abaisser les barrières qui, depuis l'origine des sociétés, séparent les uns des autres 700 millions d'hommes groupés sur les bords des mers de l'Inde et 300 millions d'occidentaux, tel est le but poursuivi par M. Ferdinand de Lesseps et par ses coopérateurs. A ce seul énoncé, on se demande comment une telle entreprise a pu rencontrer tant d'obstacles; on s'en étonnera bientôt davantage encore; mais il ne nous appartient pas de retracer l'histoire de ces luttes; nous devons même renoncer à mentionner toutes les difficultés matérielles qu'il a fallu vaincre pour amener ce vaste projet au terme si voisin du succès où il est enfin parvenu; d'ailleurs, la Compagnie universelle du canal des deux mers est restée en communication journalière avec le monde entier par de nombreuses publications et par d'éloquents interprètes; nous pouvons nous limiter dans cet exposé succinct au point de vue technique et même n'aborder que l'examen des circonstances les plus caractéristiques; elles se résument aujourd'hui dans un fait dominant, la substitution du travail mécanique au travail manuel : mais, avant d'entrer à ce sujet dans les détails nécessaires, il convient d'indiquer sommairement quel est l'état des lieux et quelle est la nature des travaux exécutés dans l'isthme pour réunir la Méditerranée à la mer Rouge.

§ 1. — Tracé du canal.

La longueur totale du canal est de 160 kilomètres; il traverse successivement trois régions distinctes : les lagunes attenant au Delta du Nil, des hauteurs appartenant au Désert et la plaine brûlante de Suez.

En arrivant de la Méditerranée, on aborde à Port Saïd, plage inhospitalière et solitaire, il y a peu d'années, où les bâtiments chargés des approvisionnements des premiers chantiers étaient obligés, pour débarquer leur cargaison, de la jeter à la mer et de la faire flotter péniblement jusqu'au rivage; aujourd'hui, elle est animée par une ville de 10,000 âmes,

par de vastes ateliers pourvus de toutes les ressources mécaniques de l'Occident et par un port de 51 hectares de superficie. Cette création est une des plus belles de la Compagnie : le port est formé par deux jetées en blocs artificiels de 25 tonnes; la plus importante est celle de l'Ouest; elle aura 2,660 mètres de long; une longueur de 2,200 mètres est exécutée ; elle s'avance déjà jusqu'aux fonds de 8 mètres; la seconde jetée, celle de l'Est, n'aura que 1,800 mètres; plus de la moitié est faite. Ces deux jetées, distantes de 1,400 mètres à leur origine à terre, vont en se rapprochant et ne laissent qu'un passage de 400 mètres entre leurs musoirs. Le port est entièrement creusé à la drague et les déblais servent à l'établissement de terre-pleins sur lesquels la ville de Port Saïd s'étend chaque jour.

Telle est l'entrée du canal; à la suite on rencontre, sur une longueur d'environ 65 kilomètres, les lagunes connues sous les noms de lacs Menzaleh et Ballah; leurs chenaux étroits et sinueux ne portaient que de misérables barques de pêche de 0m40 à 0m50 de tirant d'eau. Aujourd'hui, vingt dragues à couloir y enlèvent par mois 600,000 mètres cubes de terre argileuse et les déposent en banquettes sur les bords du canal.

Au sortir des lagunes, le sol s'élève graduellement et forme un plateau dont la première partie est désignée sous le nom de seuil d'El Guisr ; elle s'étend sur une dizaine de kilomètres de longueur, sa hauteur maximum au-dessus de la mer est de 17 mètres. Les travaux, commencés sur ce point par les contingents égyptiens, sont continués au moyen d'excavateurs à sec dont il sera question plus loin ; la tranchée y est terminée jusqu'au niveau des eaux : il reste à introduire les dragues pour agrandir et transformer en canal la rigole qui conduit, dès à présent, les eaux de la Méditerranée jusque vers le 85e kilomètre.

Le seuil d'El Guisr se termine à une dépression naturelle dont la profondeur atteint 6 mètres au-dessous de la mer; c'est le lac Timsah ; sur ses bords s'élève la ville d'Ismaïlia,

1° Compression de l'air à l'aide de machines placées hors du souterrain;

2° Transmission de l'air comprimé jusqu'au fond de la galerie souterraine ;

3° Exploitation de la roche, enlèvement des déblais et construction du revêtement en maçonnerie.

Compression de l'air. — La compression de l'air s'effectue au moyen de forces hydrauliques très-puissantes qui, dans ces hautes régions, étaient restées sans emploi. Du côté de Bardonnèche, le torrent de Mélezet a un débit de 900 litres par seconde, au minimum. Ses eaux ont été dérivées et recueillies dans un réservoir placé à 45 mètres au-dessus du point où elles doivent agir; elles fournissent donc, dans les plus grandes sécheresses, une force de 40,500 kilogrammètres ou de 540 chevaux-vapeur. A Fourneaux, on a fait, dans l'Arc, une dérivation de 6,000 litres par seconde ; la chute étant de 5m60, on dispose, sur ce point, d'une puissance dynamique de 33,600 kilogrammètres ou de 448 chevaux-vapeur, que l'on pourrait augmenter considérablement au besoin, soit en prenant dans l'Arc un plus grand volume d'eau, soit en utilisant les eaux du torrent de Charmet.

Deux sortes de machines ont été successivement et même simultanément employées pour opérer la compression de l'air; l'une est le *compresseur à colonne d'eau* ou *à choc*, l'autre le *compresseur à pompe*. Le brevet d'invention de la première machine appartient à MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller; celui de la seconde, à M. Sommeiller seul.

Dans le compresseur *à colonne d'eau*, un tube métallique vertical de 0m62 de diamètre se remplit alternativement d'eau et d'air: lorsque l'eau s'écoule, l'air extérieur s'introduit dans le tube. Sa compression est opérée par le poids et le choc d'une colonne d'eau de 26 mètres de hauteur. L'air comprimé est refoulé dans un récipient où il est maintenu constamment à

une pression effective de 5 atmosphères, sous la charge d'une colonne d'eau fournie par un réservoir régulateur placé à une hauteur de 50 mètres. L'eau motrice s'introduit dans la machine par une soupape dite *d'alimentation*; elle s'écoule par une soupape dite *de décharge*. Ces deux soupapes sont mises en mouvement par un appareil à air comprimé qui les ouvre et les laisse retomber tour à tour.

Le compresseur *à pompe* consiste simplement en un cylindre horizontal de $0^{m}57$ de diamètre aux extrémités duquel sont adaptés deux tubes verticaux. Un piston enfermé dans le cylindre horizontal est animé d'un mouvement de va-et-vient que lui imprime une roue hydraulique. Ce piston, agissant sur une masse d'eau dans laquelle il est plongé, la pousse alternativement à droite et à gauche, de sorte qu'elle s'élève et s'abaisse tour à tour dans chacun des deux tubes verticaux. Lorsqu'elle s'abaisse, l'air extérieur s'introduit dans le tube par une soupape; lorsqu'elle s'élève, elle comprime l'air et le refoule dans un récipient où il est emmagasiné sous une pression effective de 5 atmosphères. Chaque compresseur à colonne d'eau peut comprimer en vingt-quatre heures 6,000 mètres cubes d'air, dont il réduit le volume au sixième, c'est-à-dire à 1,000 mètres cubes. Un compresseur à pompe donne, dans le même espace de temps, environ 600 mètres cubes d'air comprimé.

A Bardonnèche, on a établi dix compresseurs à colonne d'eau et vingt-huit compresseurs à pompe. Il y en a autant à Fourneaux; mais l'expérience ayant fait reconnaître la supériorité des compresseurs à pompe, on a renoncé à en employer d'autres, et aujourd'hui les compresseurs à colonne d'eau sont abandonnés; ils n'ont même jamais fonctionné à Fourneaux, où, pour créer une chute d'eau d'une hauteur suffisante pour les mettre en marche, il fallait commencer par élever une partie des eaux de l'Arc.

Transmission de l'air comprimé. — On emmagasine l'air comprimé dans des réservoirs en fer, d'où il passe, au fur et

remède temporaire. Les travaux proposés et exécutés par M. Chesbrough ont pour but de trancher cette difficulté en établissant la prise d'eau au milieu même du lac à plus de 3 kilomètres de la rive.

Cette prise d'eau se fait dans la paroi d'une colonne en fonte de 2m75 de diamètre intérieur, s'élevant de 1m80 environ au-dessus du niveau des eaux ordinaires du lac et formant le revêtement d'un puits, descendu à 21 mètres au-dessous de ce niveau dans une couche de marnes bleues compactes, dures et parfaitement sèches; ce puits est mis en communication à sa partie inférieure avec la rive et, de là, avec la bâche où puisent les pompes d'alimentation, par un aqueduc souterrain de 3,220 mètres de longueur et de 1m54 de diamètre, en maçonnerie de briques de 22 centimètres d'épaisseur. Cet aqueduc, sensiblement horizontal, a été ouvert depuis la rive du lac, à l'aide d'un puits de même diamètre que le puits de prise d'eau, et descendu dans la même couche de marnes bleues à 22 mètres en contre-bas du niveau du lac. L'eau siphonne dans l'aqueduc et remonte par ce puits jusqu'à l'entrée d'une galerie qui aboutit à la bâche de prise d'eau des pompes, où elle se nivelle naturellement avec les eaux du lac. Là, elle est prise par des pompes à double effet, commandées par deux machines de 100 chevaux chacune environ, et refoulée dans un château d'eau de 48 mètres de hauteur, d'où elle se distribue dans la ville.

La partie supérieure de la colonne de prise d'eau en fonte qui s'élève au-dessus du fond du lac est défendue par un coffrage en charpente rempli d'enrochements, formant une enceinte de 7 à 8 mètres d'épaisseur, traversée à diverses hauteurs de canaux de prise d'eau et laissant à l'intérieur un vide assez large pour que, à côté du premier puits, on puisse en foncer un second déjà prévu.

La galerie souterraine par laquelle l'eau siphonne à 22 mètres en contre-bas du niveau des eaux ordinaires du lac, est un ouvrage des plus remarquables par son importance et par

la perfection avec laquelle il a dû être exécuté pour travailler en conduite forcée sous une pression de plus de deux atmosphères. Ouvert par son extrémité de rive sur 2,530 mètres, c'est-à-dire sur plus des trois quarts de sa longueur, il a été commencé en mai 1864 et terminé à la fin de décembre 1866.

Washington. — Si l'aqueduc souterrain de Chicago est le seul ouvrage relatif à l'alimentation en eau des villes que les États-Unis aient envoyé à l'Exposition du Champ-de-Mars, nous ne pouvons cependant pas passer sous silence les travaux de l'*aqueduc du Potomac*, terminé il y a deux ans à peine, et qui fournit à Washington, capitale des États-Unis, ville de 70,000 âmes environ, 300,000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures.

Dès 1842, New-York, alimenté jusque-là par des eaux de puits excessivement dures, que l'extension des manufactures et des cimetières rendaient de plus en plus mauvaises, inaugurait un aqueduc souterrain de 66 kilomètres de longueur, qui assure journellement à ses 1,100,000 habitants 160,000 mètres cubes d'eau dérivés de la rivière du Croton; cet ouvrage, qui a donné lieu aux travaux les plus importants, notamment à la construction du pont-aqueduc du Harlem-River, composé de quinze arches de 24 mètres d'ouverture et de 30 mètres de hauteur, jeté sur le bras de mer qui sépare New-York du continent, n'a pas coûté moins de 67 millions. *Philadelphie*, avec une population de 240,000 habitants, disposait, à la même époque, de 68,000 mètres cubes d'eau, élevés de la *Delaware* à l'aide de huit roues hydrauliques et de deux machines à vapeur. *Boston*, ville de 360,000 âmes, jouissait de 45,400 mètres cubes dérivés du lac *Cachituate* par un aqueduc souterrain de 38 kilomètres environ de longueur. Seule, Washington, la capitale des États-Unis, n'était pas pourvue d'un système d'alimentation d'eau.

Relativement à sa population, c'est aujourd'hui la ville la plus largement alimentée, et, sous ce rapport, aucune, ni dans

les temps modernes, ni dans le monde ancien, ne peut lui être comparée ; Rome elle-même n'était dotée par ses nombreux aqueducs que de 1,800 litres d'eau par jour et par habitant. Washington peut en recevoir aujourd'hui 4,300 !

Ce volume d'eau est dérivé du Potomac, immédiatement au-dessus des grandes chutes de ce fleuve, à 28 kilomètres environ en amont de Washington, et est amené à 43m50 au-dessus du niveau de la mer dans un réservoir de 14 hectares de superficie, pouvant contenir près de 800,000 mètres cubes d'eau par un aqueduc souterrain entièrement en conduite libre et en maçonnerie de 2m75 de diamètre intérieur.

Commencée en 1853, interrompue par la guerre de la sécession, terminée enfin il y a deux ans à peine, cette dérivation, projetée et exécutée par M. Meigs, ingénieur des États-Unis, n'a qu'une longueur de 21 kilomètres et n'a coûté que 14 millions environ, y compris le réservoir de distribution ; le prix du mètre cube d'eau par jour revient ainsi à moins de 45 francs, c'est-à-dire que le prix d'un mètre cube d'eau ne ressort qu'à 0 fr. 0065. Elle comprend des ouvrages d'art de premier ordre, notamment la plus grande arche en maçonnerie qui existe, celle du pont-aqueduc jeté sur le ravin de Cabin-John et dite arche de l'Union ; cette arche a 67 mètres d'ouverture avec une épaisseur à la clef de 1m27 et 6 mètres de largeur entre les têtes ; c'est l'arc d'un cercle de 40m71 de rayon ayant une flèche de près de 18 mètres.

Une disposition remarquable est, en outre, à signaler dans les ponts que comporte la partie d'aqueduc en conduite forcée, composée de deux tuyaux en fonte de 0m76 de diamètre, qui s'étend du réservoir de distribution jusque dans l'intérieur de la ville. Tous ces ponts sont formés par les conduites mêmes, disposées en arcs métalliques, reliées entre elles et contreventées par des croix de Saint-André ; un coffrage en bois les préserve de l'action trop directe des variations atmosphériques. Telle est la disposition du pont de College-Branch, d'une ouverture de 36 mètres, surbaissé au dixième. Mais le plus re-

remarquable et le plus important de ces ouvrages est le pont de Rock Creek, d'une portée de 61 mètres en arc de cercle, surbaissé au sixième; les deux conduites d'eau supportent, en effet, un tablier en charpente pour le passage d'une route. Eu égard à cette destination spéciale, eu égard à la portée considérable des arcs, le diamètre des tuyaux en fonte dont les conduites sont composées est porté, à cette traversée, de 0^m76 à 1^m22, et leur distance d'axe en axe de 2^m75 à 5^m50; ces tuyaux sont à brides et revêtus intérieurement d'une chemise en bois de 7 centimètres d'épaisseur, qui réduit à 1^m08 de diamètre leur section libre. Nous n'avons pu savoir d'une manière précise comment se comportent ces conduites d'eau sous les vibrations que leur transmettent les mouvements de la circulation sur le tablier qu'elles supportent; néanmoins le système fonctionne régulièrement.

Remarquons enfin que l'alimentation de la partie la plus élevée de Washington, que ne pourrait atteindre directement l'eau tirée du réservoir de distribution, est assurée par un petit réservoir situé au point culminant de Georgetown, faubourg de Washington; l'eau est refoulée du premier réservoi dans ce réservoir secondaire par une pompe que commande une turbine dont l'eau motrice est tirée des conduites principales.

§ 4. — Espagne.

Madrid. — Dans ce mouvement qui pousse tous les peuples vers le bien-être matériel largement étendu aux masses, l'Espagne n'est pas restée en arrière; son climat fait d'ailleurs ressentir le besoin de larges distributions d'eau, et sa capitale a voulu donner l'exemple par un ouvrage digne du pays qui compte parmi ses principaux monuments les aqueducs de Ségovie, de Tarragone, etc. Elle a voulu satisfaire, non-seulement aux besoins mêmes de sa population de 320,000 habitants, mais encore à l'irrigation des campagnes qui l'environnent, et elle a terminé, il y a deux ans à peine, les travaux

nécessaires pour dériver 200,000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures du Rio de Lozoya. Sur les 600 litres par habitant que représente ce volume d'eau, les cinq sixièmes sont affectés aux irrigations; 100 litres seulement sont réservés à l'approvisionnement de la ville et aux besoins de sa population.

Le barrage de prise d'eau en maçonnerie, de 30 mètres de hauteur, forme dans la vallée même du Rio de Lozoya un réservoir d'alimentation de plus de 3 millions de mètres cubes. On a éprouvé les plus grandes difficultés à l'étancher et il a retardé de plusieurs années la mise en service de l'aqueduc de dérivation, commencé dès 1851.

Cet aqueduc souterrain, dit *canal d'Isabelle II*, a une longueur de 76 kilomètres, depuis la prise d'eau jusqu'au réservoir de distribution; situé à 111m20 au-dessus du niveau des basses eaux du Manzanarès, il présente une section de 2m15 de largeur sur 2m80 de hauteur sous clé. Sa pente est de 0m20 par kilomètre; elle est portée à 0m67 dans les parties ouvertes en souterrain où l'on a pu diminuer ainsi la section tout en assurant le même débit; sur les ponts-aqueducs que présente la dérivation, elle est de 1m50 par kilomètre et la section de l'aqueduc y est réduite à 1m39 de largeur sur 1m39 de hauteur. C'est une modification analogue que l'on a apportée, dans la dérivation de la Durance, au célèbre pont-aqueduc de Roquefavour pour en réduire autant que possible l'importance.

Cette dérivation, jetée à travers un pays désert privé de voies de communication et n'offrant aucune ressource, se présentait dans les conditions d'exécution les plus difficiles et les plus onéreuses; on a lutté contre ces difficultés en recherchant avant tout la simplicité dans les constructions, et en écartant autant que possible les grands ouvrages d'art. Le pont-aqueduc le plus important que présente la dérivation n'a que 120 mètres de longueur sur 28 mètres de hauteur. Les grandes vallées rencontrées sont franchies à l'aide de conduites forcées, composées de quatre cours de tuyaux en fonte de 0m92 de diamètre intérieur; trois suffisent au débit normal de l'aqueduc;

le quatrième est une réserve en cas d'accident à l'un des trois autres.

L'ensemble de ces travaux, qui font le plus grand honneur au gouvernement et au corps des ponts et chaussées d'Espagne, notamment à MM. del Valle et Ribera qui en ont successivement dirigé l'exécution, a coûté 40,600,000 francs; ce chiffre de dépense fait ressortir à 203 francs le prix du mètre cube par vingt-quatre heures et à 0 fr. 028 le prix d'un mètre cube d'eau.

Madrid, nous l'avons dit, n'est pas la seule ville d'Espagne qui se soit occupée dans ces dernières années de pourvoir à son alimentation en eau : Xérès et Valence ont exécuté des dérivations importantes qui viennent d'être mises en service. On voit dans les albums de l'exposition espagnole des dessins intéressants relatifs à l'aqueduc de dérivation et au réservoir de Xérès inauguré en 1865. Tolède, Cordoue, Cadix, Barcelone ont commencé des travaux analogues ou poursuivent dans le même but des études importantes.

§ 5. — Autriche.

Vienne. — L'Autriche n'a rien à l'Exposition qui soit relatif à l'alimentation en eau des villes, et cependant, à Vienne, cette question est à l'ordre du jour. Vienne est alimenté en majeure partie par les eaux de puits nombreux, dépendant des habitations; ces puits constituent même le seul moyen d'alimentation de certains quartiers. En dehors de quelques eaux de sources sans importance, les eaux dites « de l'Empereur Ferdinand » complètent l'alimentation des autres parties de la ville. Ce sont des eaux tirées du Danube et élevées par des machines à vapeur, d'une force totale de 220 chevaux, qui fournissent par jour 10,000 mètres cubes d'eau au maximum.

On comprend que cette installation, qui date d'une trentaine d'années, soit considérée comme tout à fait insuffisante pou

une ville de près de 700,000 habitants, et un projet complet, qui ne peut tarder à être mis à exécution, a été étudié en vue de dériver, à une hauteur de près de 88 mètres au-dessus de l'étiage du Danube au pont Ferdinand, plusieurs sources situées aux environs de Brunn et d'un débit ensemble de 90,000 à 110,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Ces sources, au nombre de trois, dites : de « l'Empereur, Stixenstein et Alta », seront d'abord réunies par des dérivations secondaires dans un réservoir commun, d'où elles seront amenées à la colline des Roses, près Vienne, par un aqueduc souterrain de près de 107 kilomètres; l'estimation de ce projet s'élève à la somme de 25 millions et demi, non compris les trois réservoirs et le réseau de conduites de distribution qu'il comporte, et qui augmentent la dépense totale de plus de 12 millions.

§ 6. — Prusse.

Berlin. — La Prusse n'a rien envoyé non plus, qui soit relatif à cette question, et il ne paraît pas que l'alimentation de Berlin présente quelque particularité qui mérite d'être signalée. Cette ville, largement satisfaite par des puits nombreux qui donnaient, jusque dans ces dernières années, une eau excellente, limpide et fraîche, ne se préoccupe que depuis peu de son alimentation; ce n'est que depuis peu, en effet, que ses puits se corrompent par le mélange des eaux impures qui s'infiltrent à travers les terres dans une ville sans égouts. Il y a une douzaine d'années, cependant, une compagnie anglaise a monté, au bord de la Sprée, à l'amont de Berlin, des machines à vapeur qui distribuent l'eau de cette rivière dans la ville; mais la Sprée elle-même se corrompt par les eaux industrielles; l'on n'a, toutefois, le projet que de développer ce système en remontant la prise d'eau d'une dizaine de kilomètres sur la rivière.

§ 7. — Régence de Tunis.

Tunis. — Il nous reste enfin à signaler un travail important, représenté par quelques dessins, à l'exposition de la Régence de Tunis : la restauration de l'aqueduc de Carthage.

Cet aqueduc, construit par les empereurs Adrien et Septime Sévère, coupé par les Vandales, réparé par Bélisaire, enfin détruit par les Arabes, puis par les Espagnols, vient d'être restauré par Son Altesse le Bey, pour l'alimentation de Tunis et des principaux centres de population qui l'environnent. Les eaux qu'il dérive proviennent des monts Djoukar et des monts Zaghouan. Il présente une longueur totale de 130 kilomètres, dont 34 kilomètres composent la branche des monts Djoukar.

Sur les 96 kilomètres de la branche principale qui part des monts Zaghouan pour aboutir au port de la Goulette, 41 kilomètres environ sont en conduites forcées, composées d'une double ligne de tuyaux en tôle et bitume (tuyaux Chameroy), variant de $0^{m}30$ à $0^{m}55$ de diamètre intérieur. Plusieurs ponts considérables portent l'aqueduc à la traversée des cours d'eau et des vallées que rencontre la dérivation. Le plus important est celui jeté sur l'Oued Miliane pour le siphon de 8,800 mètres de longueur qui franchit cette vallée. Il sert à la fois de route et d'aqueduc.

L'ensemble de ces travaux, exécutés par un ingénieur français, M. Collin, assure un approvisionnement de 20,000 mètres cubes d'eau à une population que l'on peut évaluer à 300,000 habitants.

CHAPITRE II.

TRAVAUX, MATÉRIEL ET APPAREILS RELATIFS A LA DISTRIBUTION DES EAUX.

Nous examinerons successivement maintenant les travaux des réservoirs de distribution, les appareils de filtrage des

eaux, les conduites de distribution, enfin la distribution proprement dite à la rue et dans les habitations.

§ 1. — Réservoirs.

Les réservoirs règlent la distribution de l'eau; ils maintiennent dans la canalisation une pression sensiblement constante en ses différents points et préviennent les inconvénients graves qui résultent des distributions directes sur les conduites de refoulement.

Dans le cas de l'alimentation par dérivation de sources ou de cours d'eau, le réservoir représente d'ailleurs l'approvisionnement nécessaire de plusieurs jours, approvisionnement que l'on doit prévoir pour le cas d'accident, de visites, de travaux d'entretien dans l'aqueduc de dérivation. Dans le cas d'une alimentation par machines, des machines de réserve sont là pour faire le service de celles qui sont en réparation, et le réservoir n'est purement et simplement qu'un régulateur n'ayant pas besoin d'une grande capacité. C'est ainsi que la distribution des eaux de Paris ne comportait au maximum, en 1862, qu'une réserve d'eau de 80,000 à 85,000 mètres cubes répartie entre vingt-deux réservoirs.

Mais l'exécution de la dérivation des eaux de sources de la Dhuis a eu, comme complément nécessaire, l'établissement d'un nouveau et vaste réservoir couvert, construit, dans le cours des années 1864 et 1865, sur les hauteurs de Ménilmontant, à l'extrémité aval de la dérivation et destiné à en emmagasiner et à en distribuer les eaux. C'est un bassin de plus de deux hectares de superficie pouvant contenir, sur 5 mètres de hauteur, à une altitude de près de 80 mètres au-dessus des quais de la Seine, un volume d'eau de 100,000 mètres cubes. Entièrement en maçonnerie brute de moellons ou de meulière avec mortier de chaux hydraulique ou de ciment, il offre, dans ses dispositions et dans son exécution, le même caractère de simplicité et d'économie que présente la dérivation sur tout son parcours. Il se compose

de deux compartiments distincts dans lesquels les eaux peuvent être dirigées à volonté; une conduite spéciale permet, d'ailleurs, de jeter directement les eaux dans le réseau de la distribution. Les fondations et le système de couverture de ce réservoir sont les seules parties de la construction qui méritent une mention spéciale.

Placé à flanc de coteau dans les marnes vertes, il importait à la solidité de l'ouvrage que ses fondations fussent assises sur les marnes du gypse; elles ont été, par suite, descendues à une profondeur de 6 à 8 mètres en contre-bas du radier, à l'aide de piliers correspondant aux piliers de la couverture; on a profité de cette fondation pour établir un second réservoir sous une partie du premier, en déblayant entre les piliers la couche des marnes vertes. On a constitué ainsi, au centre du réservoir des eaux de la Dhuis, un second étage de réservoir pouvant contenir 31,000 mètres cubes d'eau sur une hauteur qui varie de 2^m50 à 4^m00; ce second étage sert à emmagasiner et à distribuer les eaux de la Marne refoulées par les machines hydrauliques de Saint-Maur.

Le système de la couverture, isolée des murs de pourtour du réservoir, afin de prévenir les poussées que pourraient leur transmettre les effets de la dilatation sur des longueurs de 150 à 200 mètres, appelle l'attention par sa légèreté. Elle est composée de voûtes d'arête de 5^m40 de portée, surbaissées au neuvième, faites de deux rangs de briquettes posées à plat avec mortier de ciment, et recouverte d'une chape en même mortier; le tout présentant une épaisseur totale de 8 centimètres environ. Un système de voûtes semblables, mais d'une moindre portée, avait été déjà adopté aux réservoirs de Belleville et de Gentilly. L'ensemble de cette couverture, qui repose sur une série de plus de 400 piliers de 5 mètres de hauteur sur 0^m60 de côté au sommet, est chargé d'une couche de terre de 0^m40 d'épaisseur que recouvrent de vertes pelouses et des plates-bandes de fleurs.

En dehors de l'acquisition des terrains nécessaires à leur

établissement, ces réservoirs ont coûté 3,640,000 francs. Ils peuvent contenir jusqu'à 131,000 mètres cubes d'eau; le mètre cube de capacité utile revient ainsi à 27 fr. 78. Aux réservoirs de Passy, d'une capacité totale de 37,000 mètres cubes, il ressort à 22 fr. 12; aux réservoirs de Gentilly, où l'on peut emmagasiner 6,000 mètres cubes, il ressort à 17 fr. 80; enfin aux réservoirs de Belleville, où la partie exécutée et en service présente une capacité de 18,000 mètres cubes, il ressort à 27 fr. 50.

A Londres, l'ensemble de la distribution des eaux, basée, pour la plus grande partie, sur le système des machines, ne comprend qu'une surface totale de 7 hectares environ de réservoirs couverts, tandis que l'importance des réservoirs de Manchester permet d'y constituer un approvisionnement de 1,360,000 mètres cubes d'eau, et que, à Glasgow la dérivation des eaux du lac Katrine alimente un réservoir découvert de 28 hectares environ de superficie, pouvant contenir 2,250,000 mètres cubes d'eau à 94 mètres au-dessus du niveau de la Clyde.

Le canal d'Isabelle II, dont nous avons parlé plus haut, est complété à son extrémité aval, aux portes de Madrid, par deux magnifiques réservoirs couverts. Le réservoir du *Champ-des-Gardes*, terminé et en service, dont on voit le modèle complet à l'Exposition, a une surface d'un peu plus d'un hectare et peut contenir 69,000 mètres cubes d'eau, emmagasinés à 111^{m}20 au-dessus du niveau des basses eaux du Manzanarès au pont de Tolède, ou à 10^{m}40 au-dessus du point le plus élevé de Madrid ; il est recouvert par un système de voûtes en plein cintre et en berceau s'appuyant sur des piédroits en granit largement évidés. Ces voûtes présentent, au-dessus du radier du réservoir, une hauteur de 9 mètres sous clef. Le second réservoir, beaucoup plus important, est en construction; il occupera une surface de 3 hectres 38 ares et pourra contenir 177,000 mètres cubes d'eau. Son système de construction est analogue à celui du réservoir du Champ-des-

Gardes; toutefois sa couverture présentera plus de légèreté, par la substitution de voûtes surbaissées aux voûtes en plein cintre ; elle reposera sur plus de 1,000 piliers en granit de 6 mètres de hauteur et de $0^{m}54$ de côté au sommet.

En Amérique, où les principales villes, New-York, Washington, Boston, sont alimentées par des dérivations, on attache une très-grande importance à de larges approvisionnements d'eau et l'on tend à augmenter constamment les réservoirs et leur capacité.

C'est ainsi qu'à New-York, où l'on avait construit en même temps que l'aqueduc du Croton, c'est-à-dire dès 1842, un réservoir découvert de 1 hectare 38 ares, pouvant contenir 95,000 mètres cubes d'eau sur une profondeur de $11^{m}40$, on a inauguré, en 1862, au centre même du parc de la ville, le plus grand réservoir de distribution d'eau qui existe ; ce réservoir, de 38 hectares 78 ares de superficie, pouvant emmagasiner près de 4 millions de mètres cubes d'eau sur 10 mètres de profondeur, a coûté 7 millions et demi, non compris une somme de 2 millions et demi pour l'acquisition des terrains sur lesquels il est établi.

A Washington, en terminant dans ces dernières années l'aqueduc du Potomac, on a exécuté le réservoir de distribution de Georgetown que comportait le projet de cette dérivation, réservoir de 14 hectares 88 ares de superficie pouvant contenir 635,000 mètres cubes d'eau.

On voit, en résumé, que la question des réserves d'eau a donné lieu, dans ces dernières années, tant en Europe qu'en Amérique, aux travaux les plus remarquables et les plus importants.

§ 2. — Systèmes de filtrage.

Les difficultés que présente le problème du filtrage des eaux de rivière sur une grande échelle, n'ont pas été surmontées et la question en est toujours au même point.

Il faut noter, cependant, l'application remarquable et don-

nant d'excellents résultats, des cloisons perforées à la clarification des eaux ; ce système consiste à faire participer à la vitesse d'écoulement toute la masse d'eau qui traverse un bassin de dépôt, en faisant appel à ces eaux vers l'aval, par une cloison verticale percée de trous répartis sur toute sa hauteur; il a été appliqué dès 1828 par M. Parrot, ingénieur des mines, à la clarification des eaux de lavage des minerais, et on le retrouve dans la méthode de traitement des eaux d'égout de Leiscester. M. l'inspecteur général Belgrand l'a appliqué avec un succès complet dans les réservoirs de Ménilmontant, pour hâter la précipitation des sables extrêmement fins que les eaux de la Dhuis peuvent entraîner dans certains moments. Ce n'est pas le filtrage, mais c'est une préparation au filtrage, de nature à débarrasser les eaux de la plus grande partie des matières en suspension et à prévenir ainsi l'encrassement trop rapide des filtres, un des obstacles les plus sérieux du filtrage en grand.

Les *filtres naturels* auxquels la situation de certaines villes permet de recourir, donnent généralement de bons résultats. On augmente ceux de Toulouse, qui comptent parmi les plus anciens, en prolongeant les galeries ouvertes dans les graviers d'atterrissement de la Garonne, galeries dans lesquelles se font les prises d'eau.

Un des points remarquables de la distribution des eaux de Lyon est certainement l'essai qu'elle comporte de l'application de ce système de filtres à la clarification des eaux du Rhône. On a creusé sur le bord du fleuve, à 3 mètres en contre-bas de l'étiage, une galerie et des bassins filtrants; les eaux y arrivent suffisamment claires, mais la filtration est lente; elle dépend de la différence de niveau des eaux dans le fleuve et dans la galerie. Pour augmenter cette dénivellation, on avait installé une petite machine alimentaire de 32 chevaux qui aspirait énergiquement l'eau dans la galerie de filtration, mais les sables venaient avec l'eau et les murs des galeries se minaient. On a porté alors à

4,500 mètres carrés, les surfaces filtrantes ; dans ces conditions ce n'est encore que lorsque le fleuve est à 1 mètre au moins au-dessus de l'étiage que l'on peut avoir les 20,000 mètres nécessaires à la ville de Lyon, c'est-à-dire $4^{m}45$ par mètre carré de surface filtrante ; au-dessous de ce niveau la quantité d'eau fournie est insuffisante. Ce n'est pas l'étendue des surfaces filtrantes qu'il importe d'augmenter, c'est le développement des galeries de filtration. Dans ces conditions le mètre carré de surface filtrante est d'ailleurs revenu à 150 francs environ.

Ce même système des filtres naturels est aussi appliqué à Vienne (Autriche), et y a donné lieu, il y a peu d'années, à des travaux intéressants. En 1838, lors de l'installation des conduites de l'Empereur Ferdinand, les eaux étaient tirées du Danube par l'intermédiaire de canaux latéraux, sans communication apparente avec le fleuve et descendus à $2^{m}50$ en contre-bas de son niveau ordinaire ; mais, lors des basses eaux, ces canaux ne fournissaient plus une quantité suffisante aux besoins de l'alimentation. On y a substitué récemment une galerie souterraine en maçonnerie de $1^{m}60$ de hauteur sur $0^{m}30$ à $0^{m}40$ de largeur, établie parallèlement au Danube, à 200 mètres environ de distance et à 5 mètres en contre-bas de son niveau moyen. Il est peu probable que, dans cette situation, elle soit alimentée par les eaux du Danube ; elle fournit en tous cas une eau excellente à boire. Sa longueur est de 450 mètres ; il conviendrait de la porter à 650 pour qu'elle pût fournir régulièrement les 10,000 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures, qui doivent alimenter les conduites de l'Empereur Ferdinand. Cette galerie a coûté 1,300 francs le mètre environ.

Il paraîtrait que pour le filtrage en grand des eaux d'Alexandrie (Égypte), on a installé avec succès des *filtres artificiels* se rapprochant autant que possible des conditions des filtres naturels : l'eau circule sur un filtre en gravier, dans des canaux de briques, avec une vitesse de $0^{m}25$ à $0^{m}30$ par seconde ; le développement de ces canaux est calculé de telle sorte que

les cinq sixièmes de l'eau filtrent dans le parcours ; le sixième qui coule à l'extrémité a pour ainsi dire nettoyé le filtre, en entraînant les matières qui ne peuvent se déposer à la vitesse de 0m25 à 0m30.

A Londres, on s'en tient toujours au filtre en gravier, composé de couches successives allant du sable le plus fin jusqu'au gros gravier. L'eau arrive à la surface, traverse ces couches d'une épaisseur totale de 1m50 environ et est recueillie dans les drains et aqueducs qui s'étendent par dessous. Ces filtres donnent de 6 à 8 mètres cubes par vingt-quatre heures et par mètre carré de surface filtrante, sous une charge de 1m50 à 2 mètres d'eau ; les différentes compagnies, qui se partagent l'alimentation en eau de la ville, ont encore augmenté dans ces dernières années leur développement et ils représentent aujourd'hui une surface filtrante totale de 18 hectares 75 ares. Le même système est appliqué à Berlin pour le filtrage des eaux de la Sprée ; il n'y donne que de très-médiocres résultats.

A Paris où, à proprement parler, aucun système de filtrage en grand n'est appliqué, le *filtre Vedel-Bernard*, à haute pression, est celui qui sert d'une manière générale à la clarification des eaux vendues dans les fontaines marchandes de la ville. C'est un cylindre en tôle hermétiquement clos, dans lequel sont placées des couches successives de déchets d'éponge ou de laine préparée au tannate de fer, de grès, de charbon et de gravier ; l'eau qui arrive en pression à la partie supérieure, sort dans les mêmes conditions à la partie inférieure après avoir traversé ces couches de matières filtrantes et désinfectantes. Sous une charge de 15 mètres, 1 mètre carré de surface filtrante donne 190 mètres cubes d'eau par vingt-quatre heures. Ce filtre se nettoie par le lavage des éponges et de la laine.

Dans les habitations, nous avons toujours pour la fontaine de ménage le *filtre en pierre ;* cependant, quelques appareils nouveaux qui tendent à s'y substituer méritent d'appeler l'attention.

Le principe essentiel du *filtre Bourgoise* est le feutre fortement comprimé, rendu imputrescible par une préparation de cachou et maintenu entre deux grilles métalliques galvanisées; ce filtre affecte diverses formes, suivant l'usage auquel on le destine : filtre de poche, filtre à siphon, filtre de ménage; il a un débit beaucoup plus considérable que le filtre de pierre, et se nettoie facilement par le renversement du courant; il se complète avec avantage par l'addition d'une couche de charbon superposée au filtre proprement dit, indépendante de ce filtre et facilement renouvelable.

Le grand appareil à pression de M. Bourgoise se rapproche beaucoup du filtre Vedel-Bernard, dont il ne diffère que par la nature des couches filtrantes, où l'on trouve le feutre substitué au grès et au gravier; l'eau y marche d'ailleurs de bas en haut et le nettoyage s'en opère par renversement du courant. Ce système de nettoyage ne doit pas donner de résultats plus satisfaisants avec ce filtre qu'avec le filtre Vedel-Bernard, pour lequel on a dû y renoncer; d'ailleurs, quelque bien préparée qu'elle soit, une matière animale ne peut jamais être employée, sans inconvénient, à la clarification d'une eau destinée à l'alimentation. Dans le filtre Vedel-Bernard le grès, le charbon et le gravier corrigent l'effet des éponges et de la laine.

Dans le *filtre Burcq* on revient au filtre de pierre, écartant ainsi complétement les inconvénients de l'emploi des matières filtrantes organiques, soit animales, soit végétales. On obtient d'ailleurs une filtration plus rapide qu'avec les filtres ordinaires, en raison de la nature de la pierre artificielle dont il est formé; cette pierre, fabriquée avec la terre à poterie de grès, est rendue plus ou moins poreuse suivant la nature du liquide à filtrer, par un mélange de sciure de bois ou de toute autre matière analogue qui se brûle à la cuisson de la terre. Ce filtre se prête, comme le filtre Bourgoise, aux diverses formes de filtre de poche, filtre à siphon, filtre de ménage. Il se nettoie aussi par le renversement du courant et au besoin par

l'action d'une brosse à la surface extérieure. L'inventeur se propose de l'appliquer à la filtration en grand des eaux d'un fleuve sous la forme d'un bateau-filtre, dans lequel cette pierre remplacerait la couche de gravier que traversent les eaux dans les filtres naturels de Toulouse, de Lyon, etc.

§ 3. — Conduites de distribution.

Le type de la conduite de distribution est toujours représenté, à Paris, par la conduite *en fonte* avec joints *à bagues*. Cette conduite y est exclusivement adoptée aujourd'hui pour la pose en égout, par la facilité d'exécution de son joint, soit à froid, soit à chaud et par la facilité de sa dépose. Pour la pose en terre, elle ne présente pas de garanties suffisantes. M. l'ingénieur en chef Mille en a d'ailleurs fait ressortir tous les avantages, dans sa notice sur les eaux, les égouts et le gaz, à l'Exposition Universelle de Londres, en 1862; nous n'y insisterons pas. Cependant ce système n'a presque pas pénétré hors de France, où l'on emploie toujours le *joint à emboîtement et cordon;* ce n'est qu'en Angleterre et en Belgique qu'on trouve quelques applications du joint à bagues.

Nous n'avons trouvé qu'en Angleterre le *joint à emboîtement précis*, employé dans la distribution d'un grand nombre de villes, notamment à Glasgow, dans les conduites forcées de grand diamètre de la dérivation du lac Katrine; il présente en effet des sujétions sérieuses de fabrication, de pose et de dépose.

Les divers systèmes de *joints en caoutchouc vulcanisé* que l'on remarque à l'Exposition comportent toujours avec eux les inconvénients de la matière même dont ils sont formés; il est impossible d'avoir du caoutchouc vulcanisé parfaitement homogène; trop vulcanisé, le caoutchouc devient cassant; vulcanisé d'une manière insuffisante, il se décompose peu à peu. Nous signalerons toutefois, parmi ces joints, celui de M. Marini et

celui de M. Delperdanche, qui sont en progrès sur le joint Petit, par la forme simplifiée des tuyaux à réunir et l'indépendance du joint, spécialement dans le système Delperdanche, où les joints sont à bagues en caoutchouc serrées par un collier à vis, et qui donne de bons résultats, notamment dans la distribution d'eau de Valenciennes.

Avec la diminution du prix de la fonte qui a baissé de près de 30 pour 100 depuis dix ans, les *tuyaux Chameroy*, en tôle et bitume, perdent chaque jour des avantages de leur emploi dans les distributions d'eau. Ils présentent encore cependant une économie de 20 pour 100 sur les tuyaux en fonte, et sont d'un très-bon usage, là où il y a peu de raccords, de sinuosités, de coudes dans la conduite, de variations brusques de pression; c'est-à-dire qu'ils peuvent être employés avec sécurité pour conduire les eaux, beaucoup plutôt que pour les distribuer.

Les tuyaux en ciment sont bons et avantageux dans les mêmes conditions; les *tuyaux en ciment de Grenoble*, employés dans la dérivation des eaux de Nice, fonctionnent parfaitement sous une pression de trois atmosphères. Nous en dirons autant des *tuyaux en terre cuite émaillée*, des tuyaux Doulton, Joseph Cliff, etc., de Londres, des tuyaux Zeller d'Ollwiller (Haut-Rhin) avec joints en ciment.

Ces derniers sont particulièrement remarquables par leur belle exécution; ils présentent sur les tuyaux en fonte une économie de 20 pour 100; ils ont sur eux, et surtout sur les tuyaux en tôle et bitume, l'avantage d'une durée indéfinie; ils ne subissent à l'intérieur aucune altération et ne favorisent pas les incrustations, les obstructions; leur assemblage se fait à l'aide de manchons, c'est-à-dire qu'ils sont uniformément droits, par conséquent d'une exécution facile et sûre. Ils ont été adoptés dans la canalisation d'un grand nombre de villes, non-seulement en France (Lunéville, Thann, Mulhouse, Soissons, etc.), mais à l'étranger, notamment en Suisse et en Italie.

Les tuyaux anglais qui s'assemblent à emboîtement ne pré

sentent pas la même finesse, la même perfection d'exécution, mais, rendus en France, ils ne reviennent encore qu'à moitié prix. Toutefois leur véritable place et leur meilleur usage est dans le drainage des habitations.

Nous avons dit que l'administration municipale avait adopté à Paris, un double réseau de canalisation, l'un, affecté aux eaux de source pour le service privé, l'autre, consacré au service public; chacun d'eux comportant d'ailleurs un service haut et un service bas. Les conduites dont se compose ce double réseau, ont jusqu'à $1^{m}10$ de diamètre; elles sont placées dans les égouts, au fur et à mesure que se complète le vaste drainage souterrain de la ville, sur consoles jusqu'au diamètre de $0^{m}60$, sur colonnettes en fonte au delà de ce diamètre.

Le *robinet d'arrêt* placé sur ces conduites est toujours l'ancien robinet-vanne de la ville, construit par M. Herdevin; la vanne en coin dressée sur ses deux faces s'emboîte exactement entre les deux siéges inclinés que présente le corps même du robinet. Ce corps cylindrique a permis d'arriver en toute sécurité au robinet-vanne de $0^{m}80$ de diamètre, le plus grand que l'on ait abordé jusqu'ici; ce robinet pèse 3 tonnes et ne coûte pas moins de 2,200 francs.

Dans ceux de MM. Fortin-Herrmann, d'un bon usage et adoptés dans un grand nombre de distributions d'eau, la vanne, dressée sur une seule face, est appuyée contre son siége par un galet, qui presse le plan incliné de la face opposée. Mais il n'est guère possible de dépasser avec ses formes aplaties les diamètres de $0^{m}40$ ou de $0^{m}50$. La même observation s'applique à un nouveau robinet que l'on remarque à l'Exposition, le robinet Schroo dont les dispositions simples, les vannes mobiles autour d'un axe horizontal paraissent offrir de sérieuses garanties d'étanchéité et de bon entretien.

A Londres, où les égouts ne sont pas construits dans des conditions qui permettent d'y placer les conduites d'eau, ces conduites sont reçues dans des galeries spéciales; la plupart du temps, toutefois, elles sont en terre.

Les réseaux de distribution intérieure des différentes villes d'Europe et d'Amérique ont pris naturellement, dans ces dernières années, un développement en rapport avec l'augmentation de leur approvisionnement en eau : Paris notamment, qui ne comptait en 1854 que 213,000 mètres de conduites de tout diamètre, en a aujourd'hui 1,340,000 mètres.

§ 4. — De la distribution proprement dite.

Depuis 1862, époque à laquelle M. l'ingénieur en chef Mille a décrit dans le rapport du Jury international le mode de la distribution des eaux, tant pour le service public que pour le service privé, peu de modifications y ont été apportées, soit en France, soit à l'Étranger.

Service public. — L'Angleterre ne se préoccupe toujours que du service privé, et, à part quelques fontaines publiques, pour puisage (Drink-fountain), on n'y trouve encore que la bouche à incendie.

En France, c'est la *borne-fontaine*, que remplace dans les grandes villes, à Paris notamment, la *bouche sous-trottoir*. La bouche sous-trottoir doit atteindre un double but : lavage du ruisseau et prise à haute pression pour l'arrosage et l'incendie. Il faut y ajouter pour la borne-fontaine le puisage avec repoussoir. Nos principales maisons et notamment MM. Fortin-Hermann, entrepreneurs des travaux de fontainerie de la ville, ont amené à un grand degré de perfection ces appareils, ainsi que tous ceux que comporte le service privé.

Dans la bouche sous-trottoir, le jet débouche verticalement; il est coiffé d'une coupelle, ou calotte renversée contre laquelle l'eau vient briser sa pression et d'où elle s'écoule sans vitesse au ruisseau ; la distance de cette coupelle à l'orifice du jet est calculée, suivant la pression de l'eau au point considéré pour donner sensiblement un débit déterminé, débit qui est à Paris, de 2 litres par seconde ; en ouvrant le couvercle de la bouche auquel est fixée la coupelle, l'extrémité du jet est

[illegible] le présente latéralement, de [illegible] à place du robinet à repous- [illegible] Ce en même temps robinet de [illegible]

Service privé. — Paris, que nous avons déjà signalé comme un modèle, relativement à l'ampleur avec laquelle il a compris pour le présent, et prévu pour l'avenir, la question de son alimentation, se distingue encore par l'installation du service privé.

Dans les principales villes d'Angleterre et des États-Unis, ce service présente une importance bien plus considérable par suite d'habitudes qui ne pénètrent que lentement et difficilement parmi nous, mais son organisation n'y est pas comparable.

A Londres, rien de plus simple, mais rien aussi de moins satisfaisant. Le service ne se fait que successivement, et par quartier, pendant deux heures sur vingt-quatre. Il faut pendant ce temps que chaque maison fasse son approvisionnement, remplisse son réservoir. L'approvisionnement se fait seul il est vrai ; le trop plein s'écoule naturellement à l'égout ; mais, si, par suite de besoins exceptionnels, le réservoir se vide avant la fin de la journée, il faut attendre au lendemain.

A Paris, le réseau complet de la distribution doit être constamment en service. Chaque maison a sa *prise d'eau* sur la conduite de la rue. L'établissement de cette prise se fait d'ailleurs régulièrement, aujourd'hui, en laissant la conduite en charge, à l'aide d'un collier dans lequel on visse le robinet, qui formera robinet d'arrêt et par l'œil duquel on perce la conduite. Un tuyau de plomb relie cette prise à la maison ; sur ce tuyau et contre la façade de la maison se trouve le *robinet de jauge* que précède un nouveau robinet d'arrêt à la disposition de l'abonné.

La jauge est une lumière, qui est percée dans un obturateur en cuivre et dont l'ouverture, faite par tâtonnement, résulte de la pression de l'eau au point considéré et du débit concédé en vingt-quatre heures. Avec le robinet de jauge, il faut un réservoir dans le haut de la maison pour emmagasiner l'écoulement continu. Le plus souvent la distribution est à robinet libre ; c'est un forfait consenti avec l'abonné, en admettant une consommation de 45 litres par habitant, de 5 litres par mètre de cour ou jardin, de 100 litres par cheval, de 100 litres par voiture.

Le système de *distribution par compteur*, séduisant en théorie, n'est pas admis à Paris. Il existe cependant de bons compteurs ; nommons, en Angleterre : le compteur Kennedy, cylindrique à colonne d'eau et à contre-poids ; le compteur Chadwick du même genre, mais qui ne trace plus comme celui de Kennedy le chemin parcouru par le piston ; le compteur Lewis, compteur à volume, moins précis, mais plus simple et moins coûteux ; en France : le compteur Babeaud, très-bon compteur, à colonne d'eau et à contre-poids, angulaire et non plus cylindrique, à l'abri de toute variation du volume engendré ; le compteur Herdevin qui n'est que le compteur Kennedy, perfectionné par la suppression de la valve à contre-poids, remplacée par un tiroir distributeur et que l'on voit fonctionner à l'Exposition de la manière la plus régulière ; enfin le compteur Lenoir, qui jauge dans un appareil clos, où la charge nécessaire pour le service s'établit par l'intermédiaire de l'air renfermé dans l'appareil, et comprimé par l'introduction de l'eau. Mais les meilleurs sont susceptibles de dérangements ; ils nécessitent un entretien très-suivi ; ils coûtent cher d'acquisition aux abonnés ; ceux qui sont basés sur la mesure d'une capacité, et présentent ainsi quelque garantie, occasionnent une perte de charge qui augmente rapidement avec le débit ; enfin, tous exigent, de la part des compagnies, un contrôle coûteux de la consommation. A côté de ces inconvénients, on ne doit pas attendre du système de distribution par compteurs de grands avan-

tages pratiques ; la consommation de l'eau est assez constante ; elle ne varie pas comme celle du gaz, et l'abonnement à forfait est, en définitive, la solution pratique à laquelle on doit tendre.

En Angleterre, où le système de distribution par compteur est admis, il ne se développe pas, par les mêmes raisons qui l'ont fait exclure du service de Paris : à Glasgow, où l'on distribue l'eau à 100,000 familles, il y a 500 compteurs ; à Londres, la proportion est la même.

Entrée dans la maison, l'eau s'y élève par la conduite ascensionnelle en plomb et rencontre à chaque étage le distributeur, caisse en zinc avec trop-plein assurant l'écoulement à l'égout en cas d'accident. Une soupape à flotteur qui prévient le *coup de bélier* y introduit l'eau tangentiellement par la partie inférieure. Cet ensemble forme un système simple, d'un bon fonctionnement, facile à visiter, à entretenir, et dont on voit à l'Exposition le modèle complet installé par MM. Fortin-Herrmann.

Divers systèmes nouveaux, ayant pour but de prévenir le coup de bélier, se produisent au Champ de Mars, à côté de la soupape à flotteur. Cette soupape atteint le but en fermant lentement le robinet. MM. Broquin et Lainé ont adopté dans leur robinet à repoussoir une disposition ingénieuse qui s'oppose de même au brusque arrêt de l'eau, en ne permettant à la soupape que de remonter lentement pour s'appuyer sur son siége ; c'est d'une manière analogue que MM. Clément et Crozy préviennent le coup de bélier dans le robinet à repoussoir de leur borne-fontaine.

Dans le cas de grandes masses d'eau en mouvement, le réservoir d'air est toujours le meilleur moyen de prévenir les coups de bélier ; mais cette solution n'a pu s'appliquer jusqu'ici à petite échelle dans la distribution intérieure de l'habitation ; l'air du réservoir est rapidement dissous et entraîné, et l'appareil ne fonctionne plus. M. Saintpère a eu l'heureuse idée d'obvier à cette difficulté en isolant l'air par une couche d'huile qui flotte à la surface et est recueillie, lorsque l'eau baisse et quitte l'appareil, dans une coupelle placée à la partie inférieure.

Nous ne dirons rien des appareils qui tendent à lutter contre le coup de bélier par l'élasticité du caoutchouc; ils ne présentent généralement aucune durée, ni, par conséquent, aucune garantie sérieuse.

§ 5. — Utilisation, comme force motrice, de l'eau d'alimentation.

Au sujet de l'utilisation comme force motrice de l'eau à haute pression que renferment les conduites de distribution de nos villes, nous n'avons guère qu'à renouveler les vœux qu'émettait, en 1862, M. l'ingénieur en chef Mille. Cependant nous voyons à l'Exposition un *monte-charge* (système Edoux) dont le succès, la simplicité et le fonctionnement régulier sont de nature à appeler l'attention des architectes qui participent à la transformation de la ville de Paris. La pression de l'eau agit sous un piston creux en fonte de 15 ou 20 mètres de longueur, qui se meut dans un corps de pompe descendu dans le sol à égale profondeur et qui supporte la *plate forme* sur laquelle on s'élèverait sans fatigue aux divers étages de la maison. C'est le système de la grue Armstrong, réduite à son premier élément, à l'action directe du piston.

Signalons encore, dans le système de *télégraphie atmosphérique* dont on a commencé le réseau sous Paris pour soulager le service de la télégraphie électrique, un type simple et susceptible de se généraliser, de l'utilisation comme force motrice de l'eau à haute pression des conduites de distribution : un réservoir peut communiquer d'une part avec la conduite de distribution d'eau, d'autre part avec un second réservoir où l'air est refoulé, lorsqu'on introduit l'eau dans le premier; cet air comprimé, mis en communication avec la conduite d'envoi, y chasse rapidement par sa détente le petit cylindre porteur des dépêches, tandis que le réservoir d'eau se vide à l'égout.

Dans les constructions de Paris, on a utilisé, d'une manière restreinte, mais plus simple encore, la force ascensionnelle de

l'eau de la conduite de distribution, en dirigeant cette eau jusqu'au sommet projeté de l'édifice; là, elle se déverse dans une caisse en tôle et fait contre-poids, par l'intermédiaire d'une chaîne passant sur une poulie, aux matériaux de construction à élever.

Enfin, à Lyon, cette utilisation de la force motrice de la conduite de distribution paraît descendre dans la pratique de l'atelier; de petites turbines mues par des prises d'eau faites sur la conduite, donnent aujourd'hui le mouvement à un certain nombre d'ateliers de dévidage de soie.

Il y a longtemps, du reste, que, en Amérique, on est entré dans cette voie et nous pouvons citer notamment la ville de Boston où, depuis plus de dix ans, des presses servant à imprimer l'un des journaux les plus répandus de la ville, fonctionnent sous l'impulsion de la force motrice tirée de la conduite d'eau de la rue.

CHAPITRE III.

TRAVAUX D'ÉGOUTS ET DE DRAINAGE.

§ 1. — Canalisation, travaux d'égouts.

La création ou le développement du système de canalisation de la voie publique et de drainage de l'habitation, sont la conséquence naturelle et forcée de l'extension des travaux relatifs à l'alimentation en eau d'une ville.

Aussi, peut-on juger déjà de l'importance des travaux d'égout exécutés dans ces dernières années, par l'extension donnée aux distributions d'eau, et de l'étendue du réseau des égouts des différentes villes que nous avons parcourues, par l'abondance des eaux qui les alimentent.

Pour la grandeur du plan, d'après lequel est tracé leur

système de canalisation, par l'importance des travaux qui y ont été exécutés dans ces dernières années, Paris et Londres attirent, tout d'abord, l'attention et méritent un examen spécial. Londres n'a envoyé, nous l'avons dit, aucun dessin ni modèle de ces travaux ; mais le service municipal de la ville de Paris a exposé un modèle de la grande galerie d'égout et d'une maison du boulevard de Sébastopol, un modèle du collecteur des quais de la rive droite, enfin, divers plans et cartes qui permettent de suivre, dans son ensemble et dans ses détails, son système de canalisation et de drainage.

Paris.—Il y a treize ans, Paris comptait déjà un développement considérable de galeries d'égout (163,000 mètres), mais aucun plan d'ensemble n'avait présidé à leur exécution. En 1854, dans son mémoire sur les eaux de Paris, M. le baron Haussmann traçait le programme du magnifique réseau qui se ramifie aujourd'hui sous la cité tout entière et débouche en Seine, par deux grands collecteurs, en un point situé à 20 kilomètres à l'aval de Paris suivant le contour du fleuve, ou à 1,800 mètres en ligne droite de l'enceinte fortifiée.

De ces deux collecteurs généraux, celui de la rive droite, d'une longueur de près de 4,600 mètres, présente le plus grand type (type n° 1) adopté dans la canalisation de Paris ; sa section est de 5m60 de largeur aux naissances, et de 4m40 de hauteur sous clef, avec deux banquettes et une cuvette présentant 3m50 de largeur et 1m35 de profondeur. Il forme, pour ainsi dire, l'extrémité du collecteur des quais, rive droite, de section moindre (type n°3), et a pour tributaires plusieurs autres collecteurs secondaires (notamment ceux des Coteaux et de Rivoli), dans lesquels viennent aboutir, par un certain nombre d'artères principales, les égouts de toute la rive droite.

Le collecteur général de la rive gauche, du même type que le collecteur secondaire des quais de la rive droite, part de la Bièvre qu'il reçoit, gagne au pont Saint-Michel les quais de la rive gauche et les suit jusqu'au pont de l'Alma, où il doit

traverser la Seine au moyen d'un siphon composé de deux conduites de 1 mètre de diamètre chacune, échouées en contre-bas du lit du fleuve. Au delà, il se dirige vers Asnières, pour aboutir en Seine au même point que le collecteur de la rive droite. De ce collecteur secondaire, partent un certain nombre d'égouts principaux qui se ramifient sur toute la partie rive gauche de la ville, pour en recueillir les eaux.

Si nous descendons maintenant dans le détail de ce vaste système, nous voyons une série d'égouts de douze types différents, depuis celui du grand collecteur de la rive droite, jusqu'au branchement qui conduit, à l'égout de la rue, les eaux ménagères et pluviales de chaque maison; ce dernier type d'égout a 2m30 de hauteur sous clef, sur 1m30 de largeur aux naissances, c'est-à-dire qu'il est encore dans des dimensions qui en rendent faciles la visite et le nettoyage à bras d'homme. De ce type, on s'élève à celui du grand collecteur, en passant par les types à simple banquette, à double banquette avec rails, pour les wagons-vannes employés au nettoiement de la cuvette, et par les intermédiaires de grandeurs diverses. Paris présente ainsi aujourd'hui un développement d'égouts de toute section de plus de 600,000 mètres courants.

L'égout est généralement dans l'axe de la rue; toutefois, dans toute rue de plus de 20 mètres de largeur, on a un égout sous chaque trottoir, pour diminuer la longueur des branchements qui partent des maisons. Des regards, placés de 50 en 50 mètres, en facilitent la visite et l'entretien.

Les types adoptés dans chaque cas particulier résultent non-seulement de la quantité d'eau à écouler, mais encore des conduites de distribution qui doivent y trouver place. L'égout reçoit, en outre, les faisceaux de fils du réseau électrique de Paris, mais les conduites de gaz en sont exclues par suite des risques d'accidents graves qu'elles y introduiraient.

Les galeries d'égout sont construites en maçonnerie de meulière avec mortier de chaux hydraulique, plus souvent en maçonnerie de meulière avec mortier de ciment; l'emploi du ciment

permet un décintrement plus prompt de la voûte, une réduction d'un tiers dans les épaisseurs de la maçonnerie, une exécution par conséquent plus rapide, en résumé, une moins longue interruption de la circulation sur la voie publique. L'intérieur est revêtu d'un enduit mince en mortier de ciment, qui en facilite singulièrement le bon entretien, le nettoiement et l'éclairage.

On admet encore depuis plusieurs années, pour la construction des galeries d'égout, le béton aggloméré (dit béton Coignet) composé d'un mélange fortement comprimé de sable, de chaux hydraulique et de ciment, dans la proportion d'un mètre cube de sable pour $0^{m}20$ de chaux hydraulique et 30 kilogrammes de ciment Portland. Ainsi employée en dehors des actions atmosphériques trop directes, cette matière donne de bons résultats et des résultats économiques.

Après ce qu'en a dit M. l'ingénieur en chef Mille, dans le rapport sur l'Exposition de 1862, nous n'avons pas à revenir sur le système si ingénieux et si remarquable du curage des égouts par bateaux et wagons-vannes. Il fonctionne de la manière la plus satisfaisante et est passé depuis longtemps dans la pratique journalière du nettoiement des égouts de la ville; à peine pouvons-nous citer, comme perfectionnement accessoire plus récent, la vanne formant barrage mobile sur le parcours du collecteur et permettant de le décomposer en biefs où l'eau, sans vitesse, ne gêne plus la remonte du bateau-vanne.

Londres. — A Londres, des difficultés résultant de la disposition des lieux, de la marée, dont les effets se font sentir jusqu'en amont de la ville, du niveau de certains quartiers, qui s'étendent à 1 et 2 mètres en contre-bas des hautes mers, ont rendu la solution beaucoup plus difficile, beaucoup plus dispendieuse, et ont nécessité l'emploi de moyens tout différents.

On a encore sur chaque rive un système analogue de grands

collecteurs, écoulant vers la Tamise, à 22 kilomètres en aval du pont de Londres, les eaux recueillies par les égouts secondaires qui se ramifient jusqu'à l'habitation; mais l'écoulement de toutes ces eaux en rivière par la gravitation seule n'est plus possible; il faut en relever une partie sur la rive nord; il faut, sur la rive sud, les relever en totalité, pour ne les écouler qu'au moment où la mer, commençant à descendre, les entraînera au loin. Il faut, par conséquent, que de grands réservoirs permettent de les emmagasiner dans l'intervalle, afin d'assurer l'écoulement continu qui, seul, peut prévenir les dépôts dans l'intérieur des égouts et en maintenir le fonctionnement régulier.

Trois étages de collecteurs drainent la rive nord. Le champ du collecteur inférieur, dont les eaux doivent être relevées, est réduit autant que possible ; il draine cependant encore plus de 6,000 hectares. Les collecteurs des étages haut et moyen se réunissent à Oldfort, dans un vaste réservoir en maçonnerie qui forme la tête de l'émissaire de la rive nord et peut se décharger, en cas d'accident, dans la rivière Lea, qui débouche directement dans la Tamise. La section de ces collecteurs construits en maçonnerie de brique et ciment est circulaire, et leur diamètre, qui varie de $1^{m}20$ à $3^{m}40$, est calculé sur la quantité de liquide que ces collecteurs ont à évacuer et sur une vitesse de $0^{m}60$ à $0^{m}70$ par seconde reconnue nécessaire pour y prévenir tout dépôt.

Le collecteur du bas étage, qui se rattache au plan d'endiguement de la Tamise, joint à Abbey Mills l'émissaire de la rive nord dans lequel ses eaux doivent être relevées de 11 mètres de hauteur. L'usine d'Abbey Mills se compose de huit machines à vapeur d'une force totale de 1,140 chevaux, capables de relever, à cette hauteur de 11 mètres, plus de 7 mètres cubes par seconde, soit l'énorme quantité de 648,000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

L'émissaire général de cette rive a, depuis Oldfort, une longueur de 8,800 mètres environ ; sa pente est de $0^{m}38$ par

kilomètre; sa section, de 7 mètres carrés; il aboutit, à plus de 22 kilomètres à l'aval du pont de Londres, au vaste réservoir couvert de Barking Creek, d'une surface de près de 4 hectares et d'une capacité utile de 154,000 mètres cubes. De ce réservoir, où les eaux s'emmagasinent pendant dix heures sur douze elles s'écoulent dans la Tamise pendant les deux premières heures seulement de la marée descendante. Le cadre de cette note ne nous permet pas d'entrer dans le détail des dispositions et du fonctionnement de ce réservoir et de l'usine d'Abbey Mills, non plus que dans l'étude des nombreux ouvrages de premier ordre motivés par les difficultés d'exécution du grand émissaire nord, dont le prix de revient ne s'est pas élevé à moins de 2 millions par kilomètre.

Trois étages de collecteurs drainent de même la rive sud. Les deux collecteurs, haut et moyen, dont la section atteint vers l'aval jusqu'à 2m15 de diamètre, se joignent sans se confondre, à New-Cross, et, avant de recevoir à Deptford les eaux du collecteur inférieur, traversent la rivière de Deptford Creek, par laquelle une partie de leurs eaux peut être au besoin écoulée directement vers la Tamise.

Le collecteur inférieur de la rive sud, d'une section circulaire de 1m20 de diamètre, draine une surface de 5,000 hectares environ. A Deptford, où commence l'émissaire général de cette rive, il joint les collecteurs supérieurs dans lesquels ses eaux sont relevées de 5m40 à l'aide de quatre machines à vapeur, d'une force totale de 500 chevaux, capables d'élever à cette hauteur 5 mètres cubes par seconde.

Enfin l'émissaire général de la rive sud, canal circulaire de 3m50 de diamètre et de 12 kilomètres de longueur, aboutit à la Tamise vers Crossness Point, à 3 kilomètres à l'aval de Barking Creek ; mais son niveau ne lui permettrait d'y déverser ses eaux qu'à basse mer ; en conséquence, une usine, composée de quatre machines de 125 chevaux chacune, comme à Deptford, y est installée pour élever les eaux dans un réservoir d'une surface de plus 2 hectares et demi et d'une capacité

utile de 114,000 mètres, analogue d'ailleurs à celui de la rive nord.

Ce vaste système, projeté par M. Bazalgette, l'ingénieur en chef directeur des travaux, et décidé, il y a dix ans à peine, après de longues discussions, est aujourd'hui presque complétement terminé. Il comprend 132 kilomètres de canaux et n'a pas coûté moins de 105 millions ; mais ses résultats sont complets, et satisfont à tout ce qu'on en attendait pour l'assainissement de Londres et du fleuve, dans lequel cette ville puise, jusqu'ici, la majeure partie des eaux nécessaires à son alimentation.

Après avoir examiné les deux grands systèmes de canalisation créés, d'ensemble pour ainsi dire, dans le cours de ces dix années, à Paris et à Londres, nous ne pouvons rien voir dans les pays étrangers qui puisse leur être comparé.

Il nous suffira de répéter que ces travaux de drainage, conséquence obligée de ceux de l'alimentation en eau, ont été partout l'objet d'études et de travaux en rapport avec l'importance des centres de population, et de signaler la ville de Madrid qui, il y a dix ans, ne comptait pas un seul égout et dont la canalisation souterraine présente aujourd'hui un développement de plus de 72 kilomètres de galeries. Toutes les maisons de cette ville sont, dès à présent, en communication avec ce réseau d'égouts, par lequel elles déversent leurs eaux pluviales et ménagères et la totalité de leurs vidanges ; ce réseau aboutit au Manzanarès par un grand nombre d'émissaires, servant de canaux pour l'irrigation du versant cultivé qui s'étend entre la ville et la rivière.

§ 2. — Drainage des habitations et appareils hygiéniques.

Nous venons de voir qu'à Madrid le drainage des habitations est général et complet; c'est le système adopté à Londres où, en 1847, les fosses d'aisances ont été supprimées en principe et où elles le sont en fait aujourd'hui d'une manière générale.

On y substituait l'écoulement direct à l'égout par des tuyaux en poterie de faible diamètre, en même temps qu'on adoptait le système des égouts à petite section, sans possibilité de curage artificiel, dans lesquels la vitesse d'écoulement doit prévenir les dépôts. Nous avons vu que ce même système était étendu au réseau des collecteurs, tandis que le système contraire, des galeries à grande section, prévalait dans le drainage de Paris.

En Angleterre, les appareils hygiéniques sont les mêmes que ceux produits à la dernière Exposition : ce sont toujours les *appareils Jennings*, avec siphon prévenant le retour des odeurs dans l'appartement ; leurs principes, leurs dispositions n'ont pas changé ; c'est toujours le même soin et la même ampleur dans l'installation, la même recherche du confort le plus complet ; on doit cependant y signaler une dépense d'eau excessive, quelquefois plus fâcheuse qu'utile.

Paris, sous le rapport du drainage de l'habitation, était fort en retard sur Londres, il y a peu d'années encore ; il a fait de grands progrès, facilités par sa transformation. Ainsi que nous l'avons vu, chaque maison a son branchement de grande section qui la met en communication avec l'égout. Si nous prenons le type le plus complet, nous trouvons ce branchement prolongé sous la maison et fermé seulement par une grille au droit du mur de façade. La conduite d'eau du service y est placée ; les tuyaux des eaux ménagères et pluviales, ainsi que les tuyaux de chute des cabinets d'aisances, y aboutissent.

Les tuyaux des eaux ménagères plongent dans une cuvette qui forme *fermeture hydraulique* et prévient l'accès des odeurs de l'égout dans la maison ; c'est la cuvette Godefroy ou la cuillère déversoir du système Guinier, préférable par sa simplicité et la facilité de son nettoyage. La fermeture hydraulique Vigneulle-Brepson, perfectionnement de la coupelle avec anneau renversé du système Fortin-Herrmann, est plus compliquée ; elle trouve néanmoins une application

avantageuse, là où les engorgements sont à craindre. Quant à la coupelle système Fortin-Herrmann, par la facilité de son entretien, elle remplace avantageusement, dans les divers appareils de toilette, le siphon des appareils Jennings.

De la cuvette où elles aboutissent, les eaux ménagères sont dirigées à l'égout par une conduite spéciale, soit en fonte, soit en poterie, reposant sur le radier du branchement.

L'écoulement total des vidanges à l'égout est interdit; chaque tuyau de chute aboutit à l'appareil séparateur, à la tinette-filtre du système Richer ou du système Pâris; les liquides s'écoulent par un tuyau en caoutchouc qui se branche sur la conduite des eaux ménagères, tandis que la tinette-filtre s'enlève, lorsqu'il est nécessaire, par le même branchement, et sort sur la voie publique par le regard de l'égout, sans bruit ni odeur pour l'habitation. Ce système de séparation des solides et des liquides qui tient le milieu entre le système anglais de l'écoulement total à l'égout et celui de la fosse fixe, détourne des eaux d'égout une cause puissante d'infection, et prévient la perte de la partie des matières, que l'on peut transformer le plus rapidement en un engrais facilement utilisable.

La *ventilation* de la chambre des tinettes, à l'extrémité du branchement, par le moyen d'un conduit en poterie qui s'élève jusqu'au faîte de la maison, complète le système. L'appel de l'air dans ce conduit peut être activé avantageusement par un des appareils de ventilation Noualhier, Serron ou Lemaistre. Dans l'appareil Noualhier, le vent qui s'engouffre dans le conduit de bas en haut produit une sorte d'aspiration et d'appel de la colonne d'air inférieure. Le même effet s'obtient dans l'appareil Serron par une hélice intérieure mise en mouvement par une boule formée d'ailettes qui couronne l'appareil et que le vent fait tourner. L'action de l'appareil Lemaistre ne dépend plus du vent, mais il exige l'intervention de l'homme; c'est un ventilateur ordinaire placé sur le parcours du conduit et mis en mouvement par le mécanisme du tourne-broche.

Cet ensemble fonctionne sur plusieurs points de l'Exposition où l'on remarque le bon agencement et la parfaite propreté des installations faites par M. Renard, de la compagnie chaufournière de l'Ouest.

Dans l'intérieur de l'habitation, les appareils Havard pour *siéges d'aisance* sont toujours le plus généralement employés. Ils sont d'un fonctionnement simple et régulier. Toutefois, l'appareil à tirage Guinier paraît très-digne d'attention, par la facilité de surveillance et d'entretien que présente son mécanisme extérieur. La position du mécanisme de l'appareil Dalmas mérite aussi une mention spéciale ; cet appareil présente d'ailleurs des avantages précieux sur les navires par la commande de sa cuvette qui ne peut s'ouvrir spontanément par surcharge ou sous l'action des coups de mer.

Les divers appareils qui tendent à la séparation des solides et des liquides dès le départ de la cuvette même, ne paraissent pas donner jusqu'ici des résultats bien pratiques ; leur utilité est d'ailleurs contestable.

CHAPITRE IV.

CHAUSSÉES ET MATÉRIEL SERVANT A LEUR ENTRETIEN.

Les pays étrangers n'ont fait à l'Exposition Universelle aucun envoi de nature à fixer sur la constitution des chaussées qu'ils ont adoptées, non plus que sur le mode et le matériel d'entretien qu'ils y appliquent.

L'exposition russe comprend cependant le modèle d'une chaussée adoptée par la municipalité de Varsovie. C'est une sorte de châssis alvéolaire en fonte de 0^m08 à 0^m10 de hauteur dont les cellules intérieures sont remplies de gravier ou de pierre cassée fortement damée. Cette chaussée peut être excellente pour la ville de Varsovie, mais elle ne saurait satisfaire à ces circulations exceptionnelles que présentent les

villes de Londres et de Paris, et qui y donnent naissance aux problèmes les plus difficiles concernant l'établissement et l'entretien des voies publiques.

Il s'agit en effet de constituer et d'entretenir dans ces villes des chaussées qui puissent satisfaire à une circulation de plus de 20,000 voitures par jour, car c'est à ce chiffre que s'élève la circulation moyenne, soit sur le pont de Londres, soit sur les boulevards intérieurs de Paris.

Rien malheureusement, à l'Exposition, ne nous apprend les modifications qu'ont pu subir la constitution et le mode d'entretien des principales chaussées de Londres, dans ces dernières années. Nous ne pouvons donc que nous borner à signaler ces modifications et ces progrès en ce qui concerne la ville de Paris. Les produits exposés par M. Chabrier de la compagnie des asphaltes, et par M. Sébille, les diverses machines relatives à l'entretien des voies publiques, qui sont réunis à l'exposition française, nous guideront dans cet examen.

Le fait le plus important à signaler dans la constitution des chaussées de la ville de Paris est, sans contredit, l'adoption des *voies en asphalte comprimé* et l'impulsion donnée, en ce moment même, à leur développement. Les premières applications de l'asphalte faites à Paris, à la construction des chaussées, datent de 1850; elles ne donnèrent pas de bons résultats. La roche asphaltique était employée dans des conditions qui ne lui permettaient pas de faire suffisamment corps et de former une masse parfaitement homogène, première condition d'une bonne résistance ; elle était cimentée par un mélange d'huile de résine et de goudron, dont l'évaporation et la décomposition occasionnaient bientôt la destruction rapide de la chaussée. C'est en substituant à ce mélange l'action de la chaleur, pour agglutiner la roche asphaltique, que l'on est parvenu à constituer une chaussée parfaitement homogène, d'une grande résistance, ayant, sur la chaussée pavée, les avantages du macadam, c'est-à-dire moins bruyante, fatigant moins les voitures et les chevaux, et, d'un autre côté, ne présentant par les inconvénients

du macadam, c'est-à-dire la poussière, la boue, les entraves continuelles que son entretien apporte à la circulation. Bien entretenue, elle est d'ailleurs peu glissante; il suffit d'en enlever la boue grasse par de fréquents lavages et de la sabler légèrement; des dépôts de sable sont faits dans ce but, de distance en distance, dans des chambres pratiquées sous les trottoirs des voies asphaltées.

La chaussée en asphalte est constituée aujourd'hui par une couche de béton de chaux hydraulique, de $0^{m}10$ d'épaisseur, sur laquelle on répand et on pilonne fortement de l'asphalte, réduit en poudre et chauffé à une température de 140 degrés environ. La roche est broyée à l'usine, puis chauffée et désagrégée dans des fours spéciaux d'où elle sort en poudre; elle est immédiatement portée sur le chantier, étendue à une température encore voisine de celle à laquelle elle sort du four, et comprimée soit avec des pilons en fer chauffés, soit avec de lourds cylindres en fer maintenus à une température assez élevée par un foyer central. Le prix du mètre carré d'établissement de ces chaussées est de 14 francs, pour une épaisseur d'asphalte comprimé de $0^{m}04$; ce prix augmente de 1 franc par chaque centimètre d'excédant d'épaisseur. Leur entretien est facile; il se fait par l'enlèvement complet des parties usées. Il ne paraît pas devoir revenir annuellement à plus de 1 franc à 2 francs par mètre.

Toutefois, les voies pavées et macadamisées ont encore aujourd'hui une importance bien autrement considérable; on comptait, en effet, à Paris, à la fin de 1867, près de 4,900,000 mètres carrés de chaussées pavées, et 2,150,000 mètres carrés de chaussées macadamisées, pour 160,000 mètres carrés de chaussées asphaltées.

Nous n'avons rien à dire des *voies pavées;* leur entretien n'a pas changé; leurs inconvénients et leurs avantages sont connus depuis longtemps; on tend toujours à substituer au gros pavé de grès cubique de $0^{m}22$ de côté, les pavés en porphyre de plus petites dimensions.

L'établissement et l'entretien des *voies macadamisées* présentent, au contraire, un grand intérêt par les études auxquelles ils ont donné lieu et par les perfectionnements incessants que l'on y apporte.

Les voies larges et aérées sont celles où le macadam trouve son application la plus convenable et la plus avantageuse. On tend, du reste, de plus en plus aux chaussées mixtes, à larges accotements de pavés ou même d'asphalte, qui soulagent la partie centrale et en permettent l'entretien sans entraver autant la circulation, maintenue ainsi sur les bas côtés.

La meulière de choix, qui ne revient pas, à Paris, à moins de 17 francs le mètre cube, est toujours la base de l'empierrement; sur certaines voies, où une circulation excessive rend plus sensibles que partout ailleurs les obstacles qu'y apportent les réparations et l'entretien, on emploie le porphyre, malgré son prix presque double.

On attache de plus en plus d'importance à la résistance sensiblement égale, c'est-à-dire à la grosseur uniforme des matériaux d'un même emploi; par le même principe, leur mise en œuvre se fait d'abord sans aucun mélange; ce n'est qu'après plusieurs cylindrages et lorsque la chaussée est déjà parfaitement assise, qu'on y répand le sable et les détritus qui doivent en remplir les vides, à l'aide de nouveaux cylindrages.

En ce qui concerne l'entretien des chaussées macadamisées, la circulation excessive à laquelle elles sont généralement soumises tend à en exclure de plus en plus le système des rechargements partiels, remplacés par les rechargements généraux; le lavage à grande eau y est largement appliqué; enfin l'emploi des machines s'y développe et tend à y prendre une importance croissante, avec la nécessité d'opérer avant tout rapidement.

Les rechargements partiels, au milieu d'une circulation aussi active, ne peuvent se faire que dans de mauvaises conditions: les matériaux sont dispersés avant de s'être assis; ils font difficilement corps avec la chaussée; les rechargements

généraux permettent l'emploi de moyens plus puissants, l'emploi du cylindrage avec les rouleaux compresseurs et de l'arrosage par les tonneaux : c'est la reconstitution d'une voie neuve.

Le lavage à grande eau débarrasse la chaussée de la couche de poussière qui s'est durcie à sa surface par les arrosages et la circulation des voitures ; cette couche de poussière, sous l'action d'une pluie fine, se transforme en une boue grasse qui s'attache aux roues et occasionne une désagrégation rapide de la chaussée.

Matériel d'entretien. — Les machines qui s'appliquent à l'entretien sont spécialement les rouleaux compresseurs à chevaux et à vapeur, et les balayeuses. En Amérique et en Angleterre on emploie, en outre, des machines à casser et à trier les pierres, suivant leur grosseur ; mais on n'en voit à l'Exposition aucun type, et jusqu'ici celles essayées à Paris n'ont été trouvées ni assez satisfaisantes ni assez avantageuses.

Parmi les *rouleaux compresseurs,* on remarque à l'Exposition du Champ-de-Mars, un cylindre système Bouillant, cylindre à chevaux, muni d'un rail entourant l'appareil ; sur ce rail se meut le point d'attache de l'attelage, qui n'a qu'à tourner pour changer la marche de l'appareil ; ce rouleau comporte d'ailleurs un nouveau perfectionnement : la charge supplémentaire, qui se compose ordinairement de pavés placés à l'avant et à l'arrière dans des caisses en bois, est obtenue par du gravier ou mieux encore par de l'eau placée dans un cylindre en tôle qui occupe l'intérieur du rouleau lui-même ; l'appareil a ainsi moins de longueur, une plus grande légèreté pour le transport à vide ; il présente, en outre, une facilité extrême pour le chargement et le déchargement ; le grand modèle pèse 5 tonnes environ et de 8 à 9 avec sa charge supplémentaire ; c'est celui principalement employé à Paris. Le système Houyau (aujourd'hui Dézaunay), que l'on trouve à côté du précédent, est l'ancien cylindre à couronne tournante ; il

fait toujours un bon service, sans présenter cependant tous les avantages du rouleau compresseur Bouillant.

Le *rouleau à vapeur* fait un travail plus régulier que les précédents; il entrave beaucoup moins la circulation ; il évite les pieds des chevaux qui désagrégent et éparpillent les matériaux à comprimer ; il est plus rapide et plus économique; mais son emploi, au milieu d'un mouvement continuel de voitures comme à Paris, a l'inconvénient d'effrayer les chevaux; la crainte des accidents en a par suite fait restreindre l'emploi aux heures où la circulation est la moins active, et c'est la nuit qu'on fait maintenant tous les cylindrages au rouleau à vapeur. On voit à l'Exposition le rouleau à vapeur Gellerat (système Ballaison), qui donne, dans le service de la ville de Paris, les meilleurs résultats et le fonctionnement le plus régulier; il se compose de deux cylindres mis en mouvement par la même machine motrice; il marche en avant, en arrière, et peut tourner dans une courbe de 13 à 14 mètres de rayon ; son poids varie de 17 à 30 tonnes, suivant ses dimensions.

La *balayeuse mécanique* Tailfer, que l'on trouve à côté du cylindre Gellerat, est la seule qui ait passé jusqu'ici dans la pratique du balayage de la ville de Paris. Elle est simple, d'un fonctionnement régulier, et, tout en occupant peu d'espace, elle fait le service de huit à dix ouvriers; elle se compose d'un balai de piazzava (espèce de jonc d'Amérique), cylindrique et placé obliquement à l'arrière d'une légère voiture à un cheval ; ce rouleau balayeur, auquel une des roues de la voiture imprime un mouvement rotatif par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin et d'engrenages coniques, repousse à l'une de ses extrémités la boue qui est reprise par une seconde machine et repoussée ainsi successivement jusqu'au ruisseau.

Mais le problème à résoudre serait non-seulement de balayer, mais d'enlever la boue; la balayeuse Joinneau a tenté d'arriver à ce résultat : un balai, monté sur une chaîne sans fin, chasse la boue sur un plan incliné jusque dans la caisse ou tombereau, à l'arrière duquel l'appareil est monté; cette ba-

layeuse n'a pu cependant passer encore dans la pratique, en raison de la grande quantité d'eau qu'elle enlève avec la boue et qui ne se sépare que trop lentement dans le tombereau. Ce n'est que par le repos sur les bas côtés de la chaussée que le sable se dépose et peut être mis de côté pour servir de matières d'agrégation dans les rechargements, tandis que l'eau s'écoule sans inconvénient à l'égoût.

Nous citerons, enfin, parmi les machines relatives à l'entretien, l'éboueur Marmet, qui a pour but de râcler la boue épaisse des chaussées; il est composé d'une série de palettes mobiles montées sur deux roues; un homme seul le traîne; mais au milieu de la circulation active de Paris cet appareil est peu maniable et n'a pu entrer encore définitivement dans la pratique de l'entretien.

Trottoirs. — Dans toutes les voies importantes de Paris, où les trottoirs ont des largeurs considérables, on trouve le dallage en mastic bitumineux de 0m015 d'épaisseur, reposant sur un lit de béton de chaux hydraulique de 0m10 et soutenu du côté de la voie publique par une bordure généralement en granit. Ce mastic bitumineux est composé de roche asphaltique réduite en poudre, de bitume naturel et de sable graveleux qu'on y mélange au moment de l'emploi. Ce dallage ne revient qu'à 6 francs environ le mètre carré. Mais, dans toutes les rues de 20 mètres de largeur et au-dessous, les propriétaires riverains sont tenus à l'établissement du trottoir en granit, dont le prix n'est pas de moins de 24 francs le mètre carré.

Ce prix élevé a naturellement provoqué de nombreux essais ayant pour but de remplacer le granit par un dallage artificiel d'un prix moins élevé et présentant néanmoins les mêmes garanties de résistance et de durée. Le *dallage Sébille* à base d'ardoises ne revient qu'à 16 francs le mètre carré et paraît donner de bons résultats; la ville de Paris en a autorisé l'emploi, mais, jusqu'ici, à titre provisoire et sous certaines réserves eu égard au peu de durée des expériences faites. Ce

produit, que M. Sébille a appliqué aussi comme pavage aux nouveaux abattoirs de la ville, se compose d'un mélange de débris d'ardoises réduits en poudre fine, de sable et de brai, chauffé, trituré et fortement comprimé. Il s'emploie en challes de 7 à 8 centimètres d'épaisseur, rejointoyées au ciment et posées sur une couche de béton de 10 centimètres.

Voies plantées. — Nous signalerons, en terminant, le développement que prennent les voies plantées dans l'intérieur de la ville, au grand profit de la santé publique. Aujourd'hui, toute voie de plus de 26 mètres de largeur est bordée, sur chaque contre-allée, d'une rangée d'arbres; à partir de 36 mètres, il y en a deux; pour des largeurs de plus de 40 mètres, on forme quelquefois, au milieu, un plateau planté, séparé, de chaque côté de la façade des maisons, par une chaussée et par un trottoir; dans tous les cas, on satisfait autant que possible à la condition que les lignes d'arbres soient placées à 5 mètres au moins de distance de la façade des maisons, que l'intervalle qui les sépare soit également de 5 mètres, et qu'elles soient éloignées de 1m50 de la bordure des trottoirs. Ces arbres sont d'ailleurs l'objet de soins particuliers: une vaste cuvette est creusée à leur pied; une grille mobile en fonte recouvre cette cuvette pour que la terre toujours meuble s'imprègne facilement de l'eau d'arrosage; des lignes de drains portent même cette eau jusqu'aux racines des arbres, qu'ils enveloppent et qu'ils aèrent en même temps; enfin, un système particulier de canalisation du gaz prévient dans ces voies plantées l'infection du sol si nuisible à la végétation. Les conduites maîtresses sont enveloppées dans un petit aqueduc en maçonnerie et les conduites de distribution sont entourées d'un système de drains qui assure l'écoulement à l'air libre du gaz provenant des filtrations et des fuites. C'est à ces conditions seulement qu'une végétation, à peu près normale, peut se développer, en effet, entre ces lignes de hautes constructions, au sein de l'atmosphère viciée d'une grande ville.

SECTION VIII

EMPLOI AGRICOLE DES EAUX D'ÉGOUT

PAR M. MILLE.

§ 1. — Exposé.

S'il est un principe admis aujourd'hui c'est que l'assainissement d'une ville exige de l'eau et des égouts. L'eau doit tomber en gerbes des fontaines monumentales ou jaillir de la lance du cantonnier pour laver la surface des rues ou arroser les squares : elle doit couler en abondance dans l'habitation, à la cuisine, au cabinet de toilette, au water-closet. Après qu'elle a servi, il faut qu'elle s'échappe vers l'égout, pour aboutir au collecteur qui se décharge au dernier émissaire, jusqu'ici, la rivière. Mais là commence l'embarras. La rivière reçoit des eaux boueuses et sales, qui déposent en route, qui infectent à l'aval le courant dans lequel la campagne met ses prises de distribution, ses écoles de natation, sa navigation de plaisance. Est-il permis de nuire à autrui, et l'obligation de ne pas nuire ne grandit-elle pas à mesure que les centres de population qu'on assainit se comptent par centaines de mille âmes ? Que faire ? Retourner aux voies naturelles, restituer à la terre tout ce qui lui a dû la vie ; voilà ce qu'indique l'expérience. La restitution est pratiquée de toute antiquité à l'égard du fumier, considéré comme l'engrais normal : elle existe, à l'égard des vidanges. dans les pays de cul-

ture avancée, la Flandre, l'Alsace, comme à l'égard des boues, dans la banlieue de Paris. Il ne saurait y avoir exception pour les eaux d'égout : il faut les rendre à la terre.

Le difficile est de trouver un moyen pratique de faire cette restitution. On transporte facilement, au moyen du tombereau, des fumiers, des boues, des vidanges même ; on les enfouit, on les travaille à la charrue. Ce sont des matières riches sous un petit volume ; mais des masses énormes de liquides pauvres, comment les expédier au loin, comment les incorporer au sol ?

§ 2. — Irrigations de Valence.

Pour nous, le type de l'éternelle fécondité, c'est l'inondation du Nil. De même, dans nos pays, les terres les plus riches sont les alluvions colmatées, baignées par les crues. Qu'est-ce que le val de la Loire, sinon le don du fleuve, comme l'Égypte est le don du Nil ? Et là, pourtant, la proportion des troubles est moins forte que dans les eaux d'égout.

Dans l'ancienne Rome, on ne voit aucun exemple d'application : la *cloaca maxima* versait directement au Tibre l'eau des quatorze aqueducs. Le progrès vient avec les Arabes, qui ont apporté en Europe l'irrigation. L'Arabe avait vu dans le désert l'eau changer le sable en oasis de verdure. Devenu en Espagne civilisé et instruit, il imagina les barrages en rivière, l'utilisation de la pente, les canaux d'arrosage ; l'irrigation s'étendit sur la côte occidentale de la Méditerranée, depuis l'Andalousie jusqu'en Roussillon. La conquête chrétienne, au XIIIe siècle, trouva la plaine de Valence arrosée par sept dérivations du Xucar ; en même temps, l'usage existait en ville d'envoyer au ruisseau public, par des conduites en poterie ou en briques, toutes les eaux sales de l'habitation. L'infection grandissant avec la population, le conquérant don Jayme d'Aragon ordonna que, chaque jour, le canal de Cuart, l'une des sept branches de la plaine, coulerait pendant deux heures

sur vingt-quatre, pour laver les égouts. Il sortait ainsi de la ville un ruisseau fangeux qui se rendait à la mer. Près des murs, les riverains retirèrent d'abord le fumier et la boue qui, desséchés au soleil sur la berge, devenaient de l'engrais; puis, plus loin, ils barrèrent le courant et l'obligèrent à passer dans leurs rigoles de culture. Le résultat fut que, dans la Huerta de Valence, citée avec raison comme une merveille, la portion la plus riche borde aujourd'hui le canal trouble qui porte avec lui l'eau et l'engrais.

§ 3. — Prairies du Milanais.

A Milan, les circonstances furent semblables. Milan, tête de la Lombardie au moyen âge, avait une ceinture de fossés dans lesquels on envoyait les immondices des rues et les résidus des fabriques de laine. Le courant s'écoulait vers le Pô par un vieux lit, la Vettabia, qui traversait les terres de l'abbaye de Chiaravalle (Clairvaux) occupée par les moines de Cîteaux. La tradition veut que ce soit saint Bernard lui-même qui ait eu l'idée de jeter ces eaux grasses et impures sur les prés de l'abbaye. L'effet fut excellent. Il augmenta quand on y joignit l'eau des *fontanili*, des sources artésiennes qui circulent sous le gravier de la plaine; puis, quand François Sforza, au xve siècle, après avoir dérivé de l'Adda le canal de la Martesana, attribua un mètre cube par seconde et par jour au lavage des égouts de Milan, l'irrigation s'étendit alors sur environ 1,500 hectares : l'industrie et le travail sans repos du paysan lombard y créèrent les marcites, prairies qui donnent jusqu'à huit coupes par an, nourrissent trois vaches laitières par hectare, et sont devenues le point d'appui de la fabrication du fromage parmesan.

§ 4. — Prairies d'Édimbourg.

A Édimbourg, les prairies d'irrigation, les *craigentinny meadows*, datent du commencement du siècle : elles parurent

après l'arrivée en ville des sources de Crawley. Un ruisseau, le Foulburn, qui passe sous Holyrood, emportait à la mer le produit des égouts. Il y avait de la pente, on fit des barrages; l'eau inonda les sables, les couvrit de verdure, et l'on eut, là encore, une fabrique de nourriture verte pour les vaches laitières.

Ces faits, séparés par le temps et la distance, s'observèrent, quand les deux villes qui dirigent le mouvement en Europe, Londres et Paris, furent en face d'une grande difficulté : l'assainissement de la rivière.

§ 5. — Projet de Londres.

Londres, la première, employa, vers 1820, les machines à vapeur pour se procurer l'approvisionnement d'eau. Les compagnies puisaient dans la Tamise, et délivraient l'eau, à heure fixe, dans les citernes des maisons. La qualité, le régime étaient mauvais, mais il y avait abondance. L'eau, comme le gaz, pénétra partout. Le water-closet s'introduisit dans les habitudes; il fallut lui ouvrir les égouts, jusque-là fermés aux vidanges. Il fallut de plus arriver à un drainage général des habitations et des rues. Le flot infect revenait à la Tamise d'où il était parti, s'emmagasinant dans les collecteurs pendant les heures de la haute mer, puis nageant à la surface, poussé et repoussé par la marée. Ces conditions déplorables furent accusées par les ravages du choléra de 1848. Des enquêtes s'ouvrirent; poursuivies par des esprits vigoureux, à la tête desquels se plaça M. Chadwick, elles aboutirent à la théorie de la réforme sanitaire. L'eau la plus pure était nécessaire; elle devait être livrée à discrétion et à robinet libre; une fois salie, il fallait qu'elle retombât à l'égout, et le dernier émissaire devait, non pas verser son tribut au fleuve, mais le rendre à la terre : c'est parce qu'on rompait l'ordre de la Providence, qu'on rencontrait l'infection et la peste. L'illustre Liebig éleva la voix et prédit la ruine à un pays qui dévorait la substance

des autres, et jetait à la mer la vraie richesse, l'engrais. Ce débat, agité pendant dix ans avec la même passion qu'une question politique, apporta la lumière et fixa les décisions. Les prises d'eau furent remontées dans la Tamise au-dessus des limites de la marée; la distribution à robinet libre devint la règle. Des collecteurs latéraux reçurent le débit des égouts et, par de gigantesques travaux, les conduisirent jusqu'en mer. Enfin, la restitution, reconnue comme un bien, obtint son projet définitif.

Un aqueduc de 70 kilomètres de parcours continue l'émissaire et lui prend l'eau au moment où elle va tomber au fleuve maritime, à Crossness, pour la conduire jusqu'à l'embouchure de la Tamise, aux sables de Maplin. Formé d'un tube en briques de 3m60 de diamètre, placé, grâce à des machines élévatoires, au-dessus d'une surface arrosable de 12,000 hectares, l'aqueduc doit remplir une double fonction. En route, il livrera l'engrais liquide aux exploitations agricoles, comme on distribue l'eau pure dans les villes; à l'extrémité, il colmatera 8,000 hectares de sable endigués qui, stériles aujourd'hui, prendront la valeur des terres de première classe, parce qu'elles seront propres aux cultures épuisantes. — Le projet doit coûter 50 millions qu'on demande à l'intérêt privé.

§ 6. — Études à Paris.

A Paris, l'assainissement a été la préoccupation constante de l'administration municipale. Qu'on se rappelle les travaux exécutés depuis vingt ans, les grandes voies, les squares, l'eau de source amenée sur la ceinture des hauteurs, le drainage conçu sur des proportions telles qu'elles n'existent nulle part, et se terminant par un collecteur modèle qui roule de 1 à 2 mètres à la seconde! L'œuvre pourtant n'est pas terminée : la Seine est salie. L'Administration, par l'organe du maître de la science chimique, M. Dumas, a déclaré que la rivière devait être pure, et que la restitution était un devoir de la Ville

vis-à-vis de la campagne. Mais, avant de statuer, il fallait connaître ce qui s'était fait à l'étranger, et ce qu'on vient de lire est le résumé des documents recueillis.

L'ingénieur, auquel on avait confié les missions d'étude, concluait en proposant deux canaux d'arrosage : l'un, dans la vallée de la Seine, à travers les grèves de Gennevilliers; l'autre, sur les plateaux de sable qu'on trouve entre Montmorency et Pontoise. Les barrages créés en rivière pour la navigation suffisaient d'ailleurs à procurer la force motrice utile au refoulement. Mais l'irrigation, si favorable pendant la sécheresse d'été, cesse l'hiver; et, alors, les colmatages qui succéderaient aux arrosages, ne deviendraient-ils pas des foyers d'infection? Les maires des communes traversées ne proscriraient-ils pas, au nom de la salubrité, les bassins et les rigoles de la culture? La banlieue de Paris ne pouvait pas devenir inhabitable.

Une idée fut émise qui rallia les esprits. M. Lechâtelier, ingénieur en chef des mines, proposa d'appliquer à l'épuration des eaux d'égout le procédé qui lui avait réussi pour la défécation des jus de betteraves, l'emploi du sulfate d'alumine. L'alumine forme, en effet, avec les matières organiques, une laque qui se précipite en quelques heures et laisse les eaux à peu près clarifiées et imputrescibles. On pourrait donc, dès que la salubrité l'exigerait, travailler chimiquement les liquides, et se débarrasser des eaux claires, en ne gardant qu'un dépôt qu'on vendrait comme engrais. L'Administration décida qu'il serait fait des essais sur une échelle pratique, et y affecta un premier crédit de 100,000 francs. Ces essais sont aujourd'hui assez avancés pour que les faits qu'ils ont mis en lumière soient considérés comme certains.

Il s'agissait de comparer les deux procédés, agricole et chimique.

Le premier soin fut d'installer un laboratoire et de lui donner l'eau, le gaz, les appareils d'évaporation et de réduction. Le laboratoire avait à analyser chaque jour le liquide

d'égout, à fournir la courbe continue de la composition des eaux dans les douze mois de l'année.

On installa ensuite le travail industriel, en plaçant au collecteur d'Asnières une machine de quatre chevaux et une pompe à force centrifuge refoulant chaque jour 500 mètres cubes vers un champ d'essai d'un hectare et demi. Les bandes du champ sont livrées à la culture, qui, parcourant l'échelle de la végétation, fait à la fois des fourrages pour la nourriture des animaux, des légumes pour la Halle, des fleurs pour la parfumerie. Le milieu appartient à la défécation : il présente deux bassins de 100 mètres de long sur 10 mètres de large, où les liquides noirs viennent tomber après avoir reçu un filet de réactif, 200 grammes de sulfate d'alumine par mètre cube. Le courant s'étale dans le bassin, y passe très-lentement, dépose en route les matières empâtées dans un réseau d'alumine, et sort à l'état d'eaux blondes par des trous percés dans une cloison filtrante en planches de sapin. Rien de plus simple que l'installation : tout est à ciel ouvert; de petits canaux dirigent l'eau vers les rigoles de la culture; des goulottes en bois la mènent aux bassins. Ordinairement le partage du débit se fait ainsi : les heures du matin et du soir appartiennent à l'arrosage agricole, et le milieu de la journée à la défécation chimique.

La production des fourrages, des légumes, des fleurs, a bien réussi. Les maïs, les betteraves, les choux, sont d'un développement, d'une vigueur de verdure qui frappent l'attention. Les pois, les haricots, les pommes de terre, donnent des récoltes abondantes, et même sont recherchés par les consommateurs délicats. La rose de Provins, le réséda, la framboise, ont tout leur parfum. Cela tient à ce que l'eau noire ne touche jamais les feuilles : elle circule au fond des rigoles; c'est là que les racines viennent puiser, en opérant la décomposition sous l'action de la lumière et au grand air.

Dans les bassins, la décoloration et la décomposition n'exigent pas dix heures. L'eau, noire à la bouche, devient ver-

dâtre peu après qu'elle a reçu le filet de réactif, s'éclaircit et passe au barrage, transparente et opaline. L'engrais, laissé sur le fond, se dessèche aisément dès qu'il est en couche mince de 0m10 environ. Du noir, il passe au brun, se fendille, se perce de trous, prend l'aspect et la légereté du liége. D'ailleurs, très-peu d'odeur, soit à la défécation, soit dans les rigoles. L'air, la lumière, les grandes surfaces amènent une combustion presque immédiate des dégagements sulfurés ou carbonés.

C'est le laboratoire qui va tout résumer. Il a déjà livré, pour une période de six mois, les courbes essentielles : la composition des matières suspendues ou dissoutes dans un mètre cube d'eau d'égout, et la composition des deux éléments auxquels conduit le traitement par l'alumine, le dépôt d'engrais et l'eau blonde. Un mètre cube contient environ 3 kilogrammes de substances diverses : azote, acide phosphorique, alcalis, matières organiques et terres. Or, le dépôt garde la moitié de l'azote, tout l'acide phosphorique, la presque totalité des matières organiques et terreuses; l'eau blonde a retenu la moitié de l'azote et tous les alcalis. De là, des indications précises. On peut apprécier les eaux d'égout : brutes, elles valent 0,10 du mètre cube, et l'engrais qu'elles abandonnent vaut 18 francs par tonne. Si donc l'on considère l'ensemble des 200,000 mètres qui tous les jours s'en vont à la Seine, il y a là une mine d'où l'on peut tirer 7 millions et demi par an.

Une autre conséquence jette la lumière sur la question entière. Dans les rigoles d'arrosage se déposent des plaques grises, qu'on ne peut comparer qu'à du feutre. Eh bien, ce feutre des rigoles est identique avec le liége des bassins, car l'analyse donne :

INDICATION DES ÉLÉMENTS.	DÉPOT	
	des bassins.	des rigoles.
Azote	7	7
Acide phosphorique	7	7
Matières organiques	227	259
Matières terreuses	759	727
	1,000	1,000

Cet accord, cette harmonie montrent que la science répète encore ici la nature : la filtration dans le sol ou la précipitation chimique ne sont que deux voies conduisant au même but; à nous d'employer l'arrosage ou la défécation suivant les besoins du lieu, du temps, de la saison. Et la salubrité est ici désintéressée ; dès qu'on opère sur de grandes surfaces, avec de l'air et de la lumière, la transformation des sulfures noirs et infects en sulfates bruns et fixes se fait sans que nos sens en soient blessés.

§ 7. — Résumé.

Nous pouvons donc aujourd'hui marcher avec sécurité dans la route où Valence, Milan, Édimbourg nous ont précédés, en créant des types de perpétuelle fécondité, mais sans s'inquiéter assez de l'hygiène publique, et nous constatons qu'il existe deux procédés d'utilisation des eaux d'égout.

La voie naturelle peut employer, à la façon des contrées méridionales, l'irrigation qui permettra de parcourir l'échelle entière de la végétation, depuis l'herbe des nourrisseurs jusqu'aux légumes de primeurs et aux fleurs de parfumerie.

La voie industrielle peut fabriquer, par précipitation, des engrais, et écouler, en rivière ou sur les prairies, des eaux clarifiées, efficaces encore, comme des sources de montagne. Aucun danger d'ailleurs pour l'assainissement, dès qu'on travaille par couches minces, sur de grandes surfaces.

produit, que M. Sébille a appliqué aussi comme pavage aux nouveaux abattoirs de la ville, se compose d'un mélange de débris d'ardoises réduits en poudre fine, de sable et de brai, chauffé, trituré et fortement comprimé. Il s'emploie en challes de 7 à 8 centimètres d'épaisseur, rejointoyées au ciment et posées sur une couche de béton de 10 centimètres.

Voies plantées. — Nous signalerons, en terminant, le développement que prennent les voies plantées dans l'intérieur de la ville, au grand profit de la santé publique. Aujourd'hui, toute voie de plus de 26 mètres de largeur est bordée, sur chaque contre-allée, d'une rangée d'arbres; à partir de 36 mètres, il y en a deux; pour des largeurs de plus de 40 mètres, on forme quelquefois, au milieu, un plateau planté, séparé, de chaque côté de la façade des maisons, par une chaussée et par un trottoir; dans tous les cas, on satisfait autant que possible à la condition que les lignes d'arbres soient placées à 5 mètres au moins de distance de la façade des maisons, que l'intervalle qui les sépare soit également de 5 mètres, et qu'elles soient éloignées de 1m50 de la bordure des trottoirs. Ces arbres sont d'ailleurs l'objet de soins particuliers: une vaste cuvette est creusée à leur pied; une grille mobile en fonte recouvre cette cuvette pour que la terre toujours meuble s'imprègne facilement de l'eau d'arrosage; des lignes de drains portent même cette eau jusqu'aux racines des arbres, qu'ils enveloppent et qu'ils aérent en même temps; enfin, un système particulier de canalisation du gaz prévient dans ces voies plantées l'infection du sol si nuisible à la végétation. Les conduites maîtresses sont enveloppées dans un petit aqueduc en maçonnerie et les conduites de distribution sont entourées d'un système de drains qui assure l'écoulement à l'air libre du gaz provenant des filtrations et des fuites. C'est à ces conditions seulement qu'une végétation, à peu près normale, peut se développer, en effet, entre ces lignes de hautes constructions, au sein de l'atmosphère viciée d'une grande ville.

SECTION VIII

EMPLOI AGRICOLE DES EAUX D'ÉGOUT

PAR M. MILLE.

§ 1. — Exposé.

S'il est un principe admis aujourd'hui c'est que l'assainissement d'une ville exige de l'eau et des égouts. L'eau doit tomber en gerbes des fontaines monumentales ou jaillir de la lance du cantonnier pour laver la surface des rues ou arroser les squares : elle doit couler en abondance dans l'habitation, à la cuisine, au cabinet de toilette, au water-closet. Après qu'elle a servi, il faut qu'elle s'échappe vers l'égout, pour aboutir au collecteur qui se décharge au dernier émissaire, jusqu'ici, la rivière. Mais là commence l'embarras. La rivière reçoit des eaux boueuses et sales, qui déposent en route, qui infectent à l'aval le courant dans lequel la campagne met ses prises de distribution, ses écoles de natation, sa navigation de plaisance. Est-il permis de nuire à autrui, et l'obligation de ne pas nuire ne grandit-elle pas à mesure que les centres de population qu'on assainit se comptent par centaines de mille âmes? Que faire? Retourner aux voies naturelles, restituer à la terre tout ce qui lui a dû la vie; voilà ce qu'indique l'expérience. La restitution est pratiquée de toute antiquité à l'égard du fumier, considéré comme l'engrais normal : elle existe, à l'égard des vidanges. dans les pays de cul-

Les deux procédés n'en font qu'un et ne diffèrent que par le temps employé. La voie naturelle est lente, mais elle utilise tout; la voie industrielle est rapide, mais elle exige des sacrifices d'argent qui ne seront pas moindres que 0 fr. 01 c. par mètre cube. La séparation d'ailleurs est impossible, et le succès est au régime qui développera la *distribution*, en s'appuyant sur l'*épuration*.

§ 8. — Boues et vidanges.

Pour compléter l'ensemble des résidus d'une ville il faut parler encore des boues et des vidanges.

Les boues récoltées par un nettoyage quotidien des chaussées sont généralement employées par les cultivateurs de la banlieue de Paris. Apportées à pied d'œuvre immédiatement, laissées à l'exposition de l'air pendant six mois, le long des chemins ,elles constituent un engrais très-favorable aux vignes, aux fruitiers, aux gros légumes. Les vins d'Argenteuil, les cerises de Montmorency, les choux de Saint-Denis lui doivent leur qualité et leur abondance. Mais, à mesure que la ville grandit, et que les prescriptions de salubrité deviennent plus sévères, la récolte et le transport des boues sont plus difficiles à obtenir des cultivateurs de la banlieue : c'est en jetant les immondices aux égouts qu'on assurera le nettoiement des chaussées.

Les vidanges sont à Paris une préoccupation grande. Le cube à emporter des maisons particulières chaque nuit est de 2,000 mètres cubes. Le cube que les pompes à vapeur du dépotoir refoulent à 10 kilomètres, jusqu'aux bassins de Bondy, est de 500,000 mètres cubes par an, auxquels il faut ajouter 50,000 mètres cubes de matières demi-solides, que l'aspiration ne prend pas et que les bateaux apportent en petites tonnes à la voirie. Là s'opère la transformation en produits agricoles, poudrette et sulfate d'ammoniaque.

La poudrette est le dépôt solide qui se forme dans des bassins de décantations successives. Il y a dessiccation à l'air

sur terre pleine, puis pulvérisation et tamisage. La poudrette est un bon engrais, une sorte de guano, facile à transporter et à serrer, ayant une clientèle importante d'acheteurs. Mais la fabrication en est barbare : elle exige trois ans, et perd 19/20 de matières utiles. On songe à l'améliorer en substituant surtout la dessiccation sous hangars ventilés, à la simple exposition à l'air. On espère réduire à six mois les délais et affranchir le pays de la dispersion des gaz infects.

Les liquides riches sont au contraire travaillés en vingt-quatre heures, par le procédé de distillation des alcools de betteraves; le carbonate d'ammoniaque se dégage dans l'appareil à l'état gazeux, et, aussitôt condensé par les réfrigérants, il est converti en sulfate d'ammoniaque, que l'on vend seul, ou mélangé à la poudrette, pour l'enrichir. Les résultats sont bons, mais les frais de fabrication sont trop élevés.

Outre la grande entreprise de Bondy, il y a deux tentatives dignes d'intérêt. On peut employer les vidanges à l'état naturel, comme on le fait en Flandre, ou essayer d'en précipiter les éléments essentiels, l'azote et l'acide phosphorique, en rejetant le reste comme un *caput mortuum*. — La maison Quargan a créé des wagons qui alimentent en engrais les gares de Champagne, à 200 kilomètres de Paris. MM. Blanchard et Château emploient comme réactif le phosphate acide de magnésie et de fer. Il y a fixation des sulfures par le fer, et précipitation de phosphate ammoniaco-magnésien, à l'état pâteux. On perd les eaux et l'on convertit la pâte en poudrette. D'un côté comme de l'autre, les frais sont écrasants, et la période commerciale n'a pas commencé : l'appui, les sacrifices sont nécessaires.

En attendant des progrès que la science des transports ou de l'industrie chimique atteindra, il faut, si nous ne nous trompons, faire de l'assainissement par l'eau et les égouts; l'eau est le dissolvant et le véhicule, l'égout est une sorte de réservoir commun. L'épuration des eaux d'égout doit se placer en tête des nécessités d'une ville.

Les deux procédés n'en font qu'un et ne diffèrent que par le temps employé. La voie naturelle est lente, mais elle utilise tout; la voie industrielle est rapide, mais elle exige des sacrifices d'argent qui ne seront pas moindres que 0 fr. 01 c. par mètre cube. La séparation d'ailleurs est impossible, et le succès est au régime qui développera la *distribution*, en s'appuyant sur l'*épuration*.

§ 8. — Boues et vidanges.

Pour compléter l'ensemble des résidus d'une ville il faut parler encore des boues et des vidanges.

Les boues récoltées par un nettoyage quotidien des chaussées sont généralement employées par les cultivateurs de la banlieue de Paris. Apportées à pied d'œuvre immédiatement, laissées à l'exposition de l'air pendant six mois, le long des chemins ,elles constituent un engrais très-favorable aux vignes, aux fruitiers, aux gros légumes. Les vins d'Argenteuil, les cerises de Montmorency, les choux de Saint-Denis lui doivent leur qualité et leur abondance. Mais, à mesure que la ville grandit, et que les prescriptions de salubrité deviennent plus sévères, la récolte et le transport des boues sont plus difficiles à obtenir des cultivateurs de la banlieue : c'est en jetant les immondices aux égouts qu'on assurera le nettoiement des chaussées.

Les vidanges sont à Paris une préoccupation grande. Le cube à emporter des maisons particulières chaque nuit est de 2,000 mètres cubes. Le cube que les pompes à vapeur du dépotoir refoulent à 10 kilomètres, jusqu'aux bassins de Bondy, est de 500,000 mètres cubes par an, auxquels il faut ajouter 50,000 mètres cubes de matières demi-solides, que l'aspiration ne prend pas et que les bateaux apportent en petites tonnes à la voirie. Là s'opère la transformation en produits agricoles, poudrette et sulfate d'ammoniaque.

La poudrette est le dépôt solide qui se forme dans des bassins de décantations successives. Il y a dessiccation à l'air

sur terre pleine, puis pulvérisation et tamisage. La poudrette est un bon engrais, une sorte de guano, facile à transporter et à serrer, ayant une clientèle importante d'acheteurs. Mais la fabrication en est barbare : elle exige trois ans, et perd 19/20 de matières utiles. On songe à l'améliorer en substituant surtout la dessiccation sous hangars ventilés, à la simple exposition à l'air. On espère réduire à six mois les délais et affranchir le pays de la dispersion des gaz infects.

Les liquides riches sont au contraire travaillés en vingt-quatre heures, par le procédé de distillation des alcools de betteraves; le carbonate d'ammoniaque se dégage dans l'appareil à l'état gazeux, et, aussitôt condensé par les réfrigérants, il est converti en sulfate d'ammoniaque, que l'on vend seul, ou mélangé à la poudrette, pour l'enrichir. Les résultats sont bons, mais les frais de fabrication sont trop élevés.

Outre la grande entreprise de Bondy, il y a deux tentatives dignes d'intérêt. On peut employer les vidanges à l'état naturel, comme on le fait en Flandre, ou essayer d'en précipiter les éléments essentiels, l'azote et l'acide phosphorique, en rejetant le reste comme un *caput mortuum*. — La maison Quargan a créé des wagons qui alimentent en engrais les gares de Champagne, à 200 kilomètres de Paris. MM. Blanchard et Château emploient comme réactif le phosphate acide de magnésie et de fer. Il y a fixation des sulfures par le fer, et précipitation de phosphate ammoniaco-magnésien, à l'état pâteux. On perd les eaux et l'on convertit la pâte en poudrette. D'un côté comme de l'autre, les frais sont écrasants, et la période commerciale n'a pas commencé : l'appui, les sacrifices sont nécessaires.

En attendant des progrès que la science des transports ou de l'industrie chimique atteindra, il faut, si nous ne nous trompons, faire de l'assainissement par l'eau et les égouts; l'eau est le dissolvant et le véhicule, l'égout est une sorte de réservoir commun. L'épuration des eaux d'égout doit se placer en tête des nécessités d'une ville.

SECTION IX

TRAVAUX MARITIMES

PAR M. CHARLES MARIN.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Le développement [illegible] moyens de communication sur terre et sur mer dev[illegible] [illegible]ner un développement analogue des ports maritimes, qui ne [illegible]t autre chose que de vastes gares de transit, établies entre les grandes routes de l'Océan et l'immense réseau des voies de communication terrestres. L'industrie des travaux maritimes a su se placer à la hauteur de sa mission ; elle met sous nos yeux des conceptions d'ensemble bien raisonnées, dont les aménagements donnent une ample satisfaction aux nouvelles exigences de la navigation ; des types de digues et de môles, savamment combinés par l'étude attentive des effets de la mer, et d'une construction économique, rapide et sûre ; des procédés simples et ingénieux pour l'exécution des travaux sous-marins ; des constructions solides et bien agencées pour les grandes écluses et les formes de radoub qu'il fallait approprier aux dimensions croissantes des types des constructions navales ; des procédés remarquables appliqués au désengorgement des ports par le dragage ou par les chasses ; des engins mécaniques puissants pour soulever et

manier d'énormes masses indivisibles ; enfin, des observations patiemment poursuivies, à l'effet de combattre les corrosions éprouvées par les matériaux de construction dans l'eau de mer.

La collection remarquable de dessins, de cartes et de modèles, réunie et exposée par les soins du Ministère des Travaux publics de France et la notice publiée à l'appui, donnent une idée très-complète de l'état actuel de l'industrie des travaux maritimes, qui prend une importance toujours croissante.

La France, dont le mouvement commercial maritime dépasse 18 millions de tonneaux par an, a affecté aux travaux extraordinaires de ses ports de commerce des sommes qui se sont élevées en quinze ans, depuis l'avénement de l'Empire, à environ 160 millions, sans compter les dépenses prélevées sur les budgets de la marine et de la guerre pour les cinq grands ports militaires, et pour les grands travaux maritimes d'Alger et des autres ports du littoral africain. Indépendamment des développements qu'elle a donnés à ses anciens ports de commerce, notamment au Havre, à Bordeaux, à Dunkerque, à Boulogne, elle a créé de toutes pièces de grands établissements maritimes, parmi lesquels on peut citer les nouveaux ports de Marseille, les bassins à flot de Saint-Nazaire, le nouveau port de commerce de Brest.

L'Angleterre, de son côté, n'a rien négligé pour tenir ses grands établissements à la hauteur de sa puissante marine militaire et de ses immenses relations maritimes, qui représentent un mouvement d'environ 30 millions de tonneaux par an ; dans ces dernières années des sommes considérables votées par le Parlement sont venues s'ajouter à celles fournies par l'initiative de l'industrie privée pour accroître continuellement les docks et les havres, pour créer des ports de refuge et continuer la construction d'immenses brise-lames. Il est à regretter que cette grande nation, qui développe ses travaux maritimes avec tant de hardiesse, et qui est si riche en types de construction pleins d'originalité, ne se soit fait représenter à l'Exposition de 1867 que par un

seul modèle d'ailleurs fort instructif, celui du port de Sunderland. Les importants travaux de Portland, de Holyhead et de Douvres, et tant d'autres sur lesquels, du reste, nous aurons soin de revenir dans le cours de ce rapport, auraient fourni des types très-intéressants à mettre en regard des types français.

Nous aurons à exprimer les mêmes regrets à l'égard de la Belgique et de la Hollande, où l'industrie des travaux maritimes n'est cependant pas restée inactive, comme le témoignent plusieurs ouvrages considérables parmi lesquels on peut citer : en Belgique, la création d'une grande écluse de chasse à Ostende et l'établissement du nouveau bassin à flot d'Anvers, avec une écluse à sas de 24^{m}80 d'ouverture et un grand bassin de radoub pour le service des bâtiments transatlantiques ; en Hollande, la construction, entre Amsterdam et la mer, d'un grand canal maritime, et celle d'un grand bassin de radoub au Nieuwediep.

L'Italie, aussitôt qu'elle a été constituée, s'est empressée de consacrer une portion notable de ses ressources, environ 30 millions en six ans, à l'extension et à l'amélioration des ports de commerce existants, et à la création de nouvelles stations de refuge et de mouillage. Avec son littoral de 3,300 kilomètres de développement, sans compter les îles; avec une population maritime de 150,000 hommes et un matériel naval de 17,000 navires, l'Italie est arrivée déjà à un mouvement maritime annuel de 6,500,000 tonnes, que l'achèvement des chemins de fer de la péninsule et l'ouverture de l'isthme de Suez ne peuvent qu'accroître rapidement. Le gouvernement italien a exposé une collection d'atlas très-intéressants et qui représentent les travaux exécutés ou projetés dans ses différents ports, notamment à Gênes, Livourne, Naples, Palerme, Brindisi, Ancône, Ravenne, etc. Les travaux du vaste arsenal maritime en construction à la Spezzia doivent absorber à eux seuls une somme de 40 millions, dont une portion notable est aujourd'hui dépensée.

L'Espagne a exposé aussi des atlas renfermant des projets soigneusement étudiés par ses ingénieurs, et elle poursuit, autant que ses ressources financières le lui permettent, le prolongement de ses môles et jetées d'abri, notamment à Tarragone, à Barcelone, à Valence et à Alicante.

Les grandes guerres civiles qui ont déchiré l'Amérique dans ces dernières années, ont dû détourner, au profit de la création d'une puissante marine militaire et d'engins de destruction formidables, les efforts et les ressources qui auraient pu être consacrés à l'amélioration des ports, et c'est à cette cause qu'il faut probablement attribuer l'absence complète, dans l'exposition américaine, de types appartenant à l'industrie des travaux maritimes. L'Europe néanmoins ne pourra que gagner à observer d'un œil attentif les œuvres de ces hardis pionniers; c'est à leur initiative que nous devons déjà les premiers essais de plusieurs machines et procédés ingénieux, parmi lesquels on peut citer les mines sous-marines, les bassins de radoub flottants, et les plates-formes flottantes permettant de haler les navires à sec.

Après ces considérations générales, destinées à faire ressortir, au point de vue international, l'immense importance de l'industrie des travaux maritimes, nous allons envisager les divers éléments dont elle se compose, dans l'ordre indiqué au commencement de cet article, en essayant de mettre en évidence les progrès les plus notables qu'elle a réalisés et les procédés rationnels ou les méthodes classiques que l'expérience a consacrées.

Nous prendrons naturellement pour base de cette étude la collection de dessins et de modèles la plus complète, celle exposée par le Ministère des Travaux publics de France ; nous examinerons les différents types en ayant soin de les apprécier comparativement avec les principaux ouvrages des autres nations maritimes, mais nous nous bornerons toujours à une description très-succincte, car la notice publiée par les soins

du Ministère contient tous les éclaircissements nécessaires à l'intelligence et à l'étude complète des objets exposés.

CHAPITRE II.

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE DES PORTS.

En dehors des considérations techniques qui doivent diriger l'ingénieur dans le projet d'ensemble d'un port, et qui ont pour base l'étude attentive des courants, des vents régnants et de la marche des alluvions, quelques principes essentiels paraissent s'affirmer de plus en plus au point de vue économique général.

1° On a reconnu que pour les grands établissements maritimes, pour ceux qui sont le plus favorablement placés au confluent des grandes voies de communication de terre et de mer, ou bien à proximité de grands centres de production ou de consommation, il faut combiner les dispositions d'ensemble des ouvrages en prévision de la possibilité d'une extension presque indéfinie, suivant la progression toujours croissante des relations commerciales. L'application de ce principe, dont les bassins de Liverpool en Angleterre fournissaient un si bel exemple, a présidé en France à l'étude du plan d'ensemble des nouveaux ports de Marseille. Une série de môles, enracinés à terre, forme une suite de bassins, couverts par une digue parallèle au rivage, qui laisse entre elle et les têtes des môles un chenal, permettant une communication commode entre tous ces bassins. Ce programme ainsi largement conçu rend possible l'addition successive d'ouvrages analogues s'harmonisant avec les ouvrages antérieurs, avec lesquels ils paraîtront faits d'un seul et même jet ; il suffit d'ajouter de nouveaux môles à la suite de ceux qui existent, et de les couvrir par un prolongement correspondant de la digue, pendant que la ville elle-même continue à s'étendre parallèlement sur le rivage. Grâce à

l'application de ce large programme, Marseille, qui possédait, en 1844, 29 hectares de surface d'eau et 2,700 mètres de quais, a pu s'accroître sans difficulté en vingt ans de 61 hectares de surface d'eau et de 6,300 mètres de quais représentant une dépense de 34 millions; et ces travaux n'étaient pas encore terminés, qu'un nouveau décret du 24 août 1863 décidait la création du bassin Impérial de 48 hectares, avec 5,000 mètres de quais et douze formes de radoub, ouvrages aujourd'hui en pleine exécution.

2° Une largeur de vue analogue préside maintenant à l'établissement des avant-ports, qu'il faut mettre en relation avec la multiplicité et la rapidité des mouvements de la marine à vapeur et avec la grandeur croissante des types des constructions navales. C'est ainsi que l'avant-port du Havre a dû être agrandi, et que la largeur de son chenal a dû être portée successivement, dans ces dernières années, de 48 mètres à 64 mètres d'abord, puis à 80, largeur analogue à celle des passes de Liverpool. C'est ainsi que Marseille, déjà dotée de petits avant-ports aux deux extrémités des bassins existants, appelle de tous ses vœux l'établissement d'un immense brise-lame au large, qui formerait une rade en avant de ses bassins, vaste salle d'attente accessible en tout temps, affectable au stationnement provisoire des navires venant du large et qui remplirait à Marseille les mêmes fonctions que remplissent, à Londres la Tamise, à Liverpool la Mersey, à New-York l'Hudson. Dans le même ordre d'idées, on a été amené quelquefois à creuser les ports à marée jusqu'à une profondeur suffisante au-dessous des basses mers, pour permettre, à peu près en tout temps, l'entrée et la sortie des bâtiments. Le port militaire intérieur de Cherbourg et le nouveau port de commerce de Brest fournissent deux grands exemples de cette disposition, motivée par les facilités à donner aux mouvements de la flotte à Cherbourg, et à l'escale des Transatlantiques à Brest.

3° La nécessité d'apporter dans la manutention des marchandises une organisation méthodique, de nature à réaliser

les deux conditions devenues indispensables aux opérations de la marine commerciale, la rapidité et l'économie des transbordements, a conduit à des principes nouveaux pour la disposition d'ensemble des quais de débarquement.

On cherche aujourd'hui à obtenir dans une surface d'eau donnée le plus grand développement de quais possible, et à mettre ce développement dans un rapport convenable avec le tonnage annuel du port. L'exemple de Liverpool, qui présente une longueur de quais de 27,000 mètres pour un mouvement d'environ 8 millions de tonnes, montre que ce rapport, d'ailleurs essentiellement variable avec la nature des marchandises et la régularité des arrivages, se rapproche cependant du chiffre moyen de 300 tonnes par mètre courant de quai.

La disposition la plus avantageuse consiste à établir une série de bassins d'opération, séparés par des quais saillants, et formant ainsi une suite de redans qui sont reliés entre eux par un chenal longitudinal affecté à la circulation. Les exemples les plus heureux de cette disposition éminemment rationnelle nous sont fournis par les bassins de Liverpool, par les docks Victoria à Londres, par les nouveaux ports de Marseille, et l'on s'en est heureusement inspiré dans le projet du port de commerce de Brest. Quelquefois même on a été conduit à sacrifier complétement les conditions d'alignement et de symétrie. Ainsi, pour desservir l'immense mouvement des charbons à embarquer au port de Sunderland, les quais ont été disposés en une série de redans irréguliers, placés à des hauteurs variables, qui permettent d'accoster beaucoup de navires à la fois, et auxquels viennent aboutir des voies ferrées s'épanouissant en un immense réseau; on est arrivé ainsi à dépasser beaucoup le chiffre de 300 tonnes par mètre courant de quai.

4° La largeur des quais a dû être augmentée successivement, d'abord pour fournir le passage de voies ferrées se reliant aux gares des chemins de fer, ensuite pour rendre possible l'établissement sur les quais eux-mêmes de vastes magasins, notamment de ces grands entrepôts où les marchandises simi-

laires sont arrimées régulièrement, cataloguées et représentées par des *warrants*, qui leur permettent de passer de main en main, sans se déplacer réellement, et en n'acquittant les droits de douane qu'à la sortie de l'entrepôt. Le mérite de l'application de cet utile principe économique revient à l'Angleterre qui possède depuis longtemps de vastes entrepôts à Londres, à Liverpool, etc. La France est entrée dans cette voie au Havre et à Marseille. Le type qui paraît le plus propre à desservir le mouvement des marchandises destinées aux entrepôts consiste en un quai de 60 à 80 mètres de largeur, sur lequel on place : d'abord, à 2 mètres environ de l'arête, un hangar de pesage et d'échantillonnage, puis une rue de circulation, puis un grand magasin, auquel on donne généralement quatre étages au-dessus du rez-de-chaussée, dont une façade est affectée à l'entrée, l'autre à la sortie des marchandises, et qui renferme les divers engins mécaniques nécessaires à la manutention.

5° L'agrandissement et le perfectionnement des formes des navires, l'application des propulseurs à vapeur, et surtout l'usage de coques en fer ont rendu indispensable un entretien continu et très-soigné du matériel naval. Il en résulte que tout grand établissement maritime doit tenir à la disposition des bâtiments qui le fréquentent, des moyens commodes et rapides qui en permettent la visite et la réparation : ce sont les bassins de radoub, dont l'emplacement doit être choisi à proximité du stationnement des navires et dont les dimensions doivent être graduées suivant la grandeur variable des divers types qui fréquentent le port, le tout afin de diminuer autant que possible la lenteur et le prix de revient des manœuvres occasionnées par la visite et le radoub.

L'exposé succinct qui précède montre quel vaste champ d'observations est ouvert à l'art des constructions maritimes, et comment il a su rester, dans les conceptions d'ensemble, à la hauteur de sa mission, en se pénétrant des besoins nouveaux, résultant des transformations du matériel naval, et en

envisageant avec hardiesse le développement incessant des grandes relations commerciales qui se multiplient si rapidement dans l'ancien monde et se propagent jusqu'aux continents les plus lointains.

Il ne nous reste plus qu'à examiner, au point de vue technique, les principaux éléments des constructions elles-mêmes.

CHAPITRE III.

DIGUES ET MÔLES A LA MER.

A la suite des grandes expériences auxquelles avait donné lieu la fondation en enrochements de la digue de Cherbourg, et grâce à l'application en grand des blocs artificiels de béton, essayée avec succès en 1834 par M. Poirel au port d'Alger, un système de construction rationnel a prévalu définitivement en France, et il est représenté à l'Exposition par plusieurs types remarquables, savoir : la digue du bassin Napoléon à Marseille, celle du nouveau port de commerce de Brest, la fondation du fort Chavagnac à Cherbourg, et celle du fort Boyard.

Ce système consiste essentiellement à former sous l'eau une jetée à pierres perdues, en classant les enrochements par catégories, de manière qu'ils augmentent de volume à partir du noyau central, et à défendre avec de gros blocs artificiels le talus du large, jusqu'à une profondeur convenable au-dessous des basses mers. Sur la fondation ainsi établie de manière à émerger un peu au-dessus des marées basses, on vient faire reposer une muraille épaisse qu'on élève jusqu'à une hauteur variable au-dessus des hautes mers.

Un système différent a été pratiqué jusqu'à ce jour en Angleterre, où il a reçu des applications en grand, surtout à Plymouth, à Portland et à Holyhead; il consiste à mélanger systématiquement les matériaux gros et petits, dans le but de diminuer

les vides, et à employer autant que possible, pour l'immersion des enrochements, d'immenses ponts de service accessibles par des wagons.

Entre ces deux systèmes, l'avantage paraît devoir rester au premier, car il diminue beaucoup le cube des matériaux en permettant d'employer du côté du large des talus raides se rapprochant de 45°, tandis que les talus en enrochements doivent descendre dans les tranches d'eau supérieures à 1/7 ou 1/8. Les transports s'effectuant au moyen de chalands ou de flotteurs, ingénieusement disposés pour faciliter l'embarquement, le transport et l'immersion des gros blocs, on ne perd rien au point de vue de l'économie et de la rapidité des opérations ; car la moyenne par mois s'est élevée à Marseille à 24,000 mètres cubes, dont 4,000 mètres cubes de gros blocs, tandis que, en Angleterre, malgré l'emploi exclusif d'enrochements, on n'a pas dépassé les chiffres suivants, savoir : pour un môle isolé à Plymouth, 10,000 mètres cubes par mois; pour des digues enracinées à terre, à Portland 30,000 mètres cubes, à Holyhead 40,000 mètres cubes. Le mélange systématique des enrochements n'arrive pas à réduire la proportion du vide au-dessous de 0,28, tandis qu'elle est au plus de 0,33 dans le système français, et les tassements de la fondation sous-marine restent sensiblement les mêmes. Mais un grave inconvénient se rencontre dans le système anglais quand il s'agit d'élever une muraille au-dessus de la fondation à pierres perdues, car il faut étaler sur le talus du large les matériaux entassés dans la largeur restreinte du pont de service ; il faut, en outre, enraciner assez profondément, dans le massif des enrochements de la jetée basse, les parties de cette muraille le plus exposées au ressac, et l'on est condamné, en conséquence, à des déblais longs et coûteux qu'il faut exécuter après coup et souvent en contre-bas des basses mers ; au contraire, à l'abri des gros blocs artificiels qui recouvrent le talus du large, il suffit d'établir la

muraille sur les enrochements, convenablement arasés un peu au-dessus des marées basses.

Le tableau suivant donne l'indication des principaux môles à la mer exécutés en France et en Angleterre et fait ressortir comparativement leur importance et leur prix de revient.

FRANCE.	LONGUEUR.	PROFONDEUR moyenne au-dessous des basses mers	DÉPENSES totales.	DÉPENSES par mètre courant.	PÉRIODE d'exécution.	OBSERVATIO
—	mètres.	mèt. c.	millions	fr.		
Cherbourg	3.750	12 00	67	18,600	1784—1853	Môle isolé, ne breux tâtonnements.
Alger	1.900	18 00	30	16,000	1842—1860	Digues en m jours partie isolées.
MARSEILLE — Digues et quais de la Joliette	3.000	11 50	15	5,500	1845—1852	
MARSEILLE — Digues du bassin Napoléon	2.000	17 00	19	10,100	1859—1865	
Fort Boyard	100 sur 60	4 50	7	»	1804—1866	Môle isolé.
Fort Chavagnac à Cherbourg	150 sur 120	10 00	5	»	1854—1864	d°
ANGLETERRE.						
—						
Plymouth	1.600	10 00	40	25,000	1817—1851	d°
Portland	2.410	17 00	34	14,000	1850—1860	Digue courant à terre.
Holyhead	2.250	15 00	37	16,500	1854—1865	d°
Aurigny	1.000	15 00	16	16,000	1847—1859	d°
Jersey	1.050	10 00	8	7,500	1846—1856	d°

N. B. Pour comparer les prix de revient, il faudrait tenir compte des différences existant entre les massifs des murailles élevées au-dessus du niveau des basses mers.

Les énormes dépenses et les difficultés de construction des grands môles à la mer, leur influence assez difficile à calculer d'avance sur les courants et la marche des alluvions, ont motivé quelques tentatives dans le sens de l'établissement de jetées à claire-voie et de brise-lames flottants. Mais ces ten-

tatives ne paraissent pas devoir aboutir, au moins quant à présent, à des résultats pratiques.

CHAPITRE IV.

DIVERS PROCÉDÉS D'EXÉCUTION DE TRAVAUX SOUS-MARINS. EMPLOI DES SCAPHANDRES.

Les perfectionnements remarquables des appareils à plonger ont mis à la disposition de l'ingénieur, pour l'exécution des travaux sous-marins, des instruments précieux dont nous croyons utile de dire ici quelques mots, en les envisageant au point de vue de leur application aux travaux hydrauliques.

La cloche à plonger, après avoir été, pendant le siècle dernier, l'objet de tentatives sérieuses, auxquelles se rattachent les noms de Papin et de Coulomb en France, de Halley et de Spalding en Angleterre, avait abouti, sous la main de Smeaton, à un instrument commode, qui fut employé avec succès, en 1779, aux fondations des piles du pont d'Hexham, sur la Tyne, et, en 1788, aux travaux du port de Ramsgate. Les ingénieurs français ont perfectionné cet instrument et l'ont appliqué heureusement en 1811 au pont de Bordeaux, puis à Cherbourg, à Toulon et au Havre. En 1845, M. de la Gournerie, au port du Croisic, mettant en pratique l'idée de Coulomb pour l'établissement d'un sas à air, et, apportant dans la construction de l'appareil les perfectionnements de la mécanique moderne, réalisa une cloche à plonger en tôle, dans laquelle on peut pénétrer par un sas à air sans interrompre les travaux, où l'injection de l'air comprimé a lieu par des pompes à vapeur, et qui a permis un travail sous-marin rapide et relativement économique.

Mais la cloche à plonger, malgré les services qu'elle a rendus et qu'elle est appelée à rendre encore dans des circonstances spéciales, est un instrument lourd et encombrant, et

dans ces derniers temps, on lui a préféré généralement l'emploi du scaphandre, qui est plus maniable et plus économique.

Le scaphandre, dont les meilleurs types sont dus à MM. Siebes et Heinke, en Angleterre, et à M. Cabirol, en France, se compose d'un casque fermé hermétiquement et relié à un vêtement imperméable. L'homme y est entièrement plongé dans l'air comprimé, qu'on y envoie par des pompes, au moyen d'un tube flexible ; ses mains seules, qui traversent des manchettes en caoutchouc sont dans l'eau. Le vêtement imperméable est d'un seul morceau ; il est fait en toile ou en coton doublé d'une épaisse couche de caoutchouc ; il se termine à la hauteur des épaules par une bande de cuir, qu'on serre dans une pèlerine métallique en cuivre. C'est sur cette pèlerine qu'on vient visser le casque en cuivre étamé, que l'on fixe ensuite avec une clavette. Ce casque porte sur sa face antérieure quatre glaces protégées contre les chocs par des grillages en cuivre ; sur l'arrière vient se fixer, avec une soupape s'ouvrant de dehors en dedans, le tuyau à air qui est fait en toile caoutchoutée, appliquée sur une hélice intérieure en fil de fer étamé ; sur le côté droit se trouve une soupape s'ouvrant de dedans en dehors et par laquelle s'échappe en bulles, à travers l'eau, l'air aspiré par le plongeur, et celui en excès fourni par la pompe. M. Cabirol a ajouté à la hauteur de la bouche une troisième soupape à air, que le plongeur peut ouvrir plus ou moins, pour faire varier la quantité d'air qu'il veut garder dans son vêtement. Par dessus le vêtement imperméable le plongeur chausse des brodequins en cuir, portant de fortes semelles en plomb ; il boucle une ceinture en cuir portant le fourreau d'un poignard, qui lui permettrait de couper sous l'eau ce qui lui ferait obstacle ; sur le dos et sur la poitrine, il porte des poids en plomb suspendus au casque de fer par des crochets et reliés à la ceinture. Enfin la ceinture reçoit le dormant d'une corde maniable, dont l'autre extérmité est tenue à la surface de l'eau par un homme intelligent, qui reste ainsi constamment en communication avec le plongeur. Dans le but de réaliser une injec-

tion d'air à peu près continue, la pompe est ordinairement formée de trois corps, dont les pistons sont menés par les vilbrequins d'un même arbre, mû par les manivelles; un quatrième corps de pompe sert à envoyer constamment de l'eau dans un bassin qui entoure les pompes à air, afin de rafraîchir l'air envoyé au plongeur. Un petit manomètre indique la pression, laquelle doit toujours être un peu supérieure à celle correspondant à la profondeur d'eau où l'ouvrier doit descendre.

On doit à MM. Rouquayrol-Denayrouse un perfectionnement récent, appelé peut-être plus spécialement à rendre service à bord des bâtiments de la flotte, mais dont l'application aux travaux sous-marins présente aussi un précieux intérêt. Au lieu de placer le plongeur dans une atmosphère d'air comprimé, en communication directe avec les pompes, MM. Rouquayrol-Denayrouse font déboucher le tuyau à air dans un réservoir en fer ou en acier fixé sur le dos du plongeur, et que l'on peut remplir avec de l'air comprimé à moyenne ou à haute pression, suivant la profondeur à laquelle il s'agit de descendre sous l'eau. Au-dessus de ce réservoir, et séparée de lui par une simple cloison, est une chambre à air, dont le fond supérieur est un plateau, attaché par un bord flexible aux parois de la chambre et pouvant ainsi monter ou descendre un peu, suivant que la pression de l'air intérieur sera plus ou moins forte que celle de l'eau ambiante. La cloison séparative du réservoir et de la chambre à air est traversée par une petite soupape conique dont la tige se relie à l'axe du plateau mobile supérieur, en sorte que les mouvements de ce plateau pourront commander l'ouverture ou la fermeture de la petite soupape, si l'on a calculé convenablement les surfaces respectives. Le tuyau d'aspiration du plongeur vient se fixer sur la chambre à air. Si celle-ci est pleine d'air à la pression de l'eau ambiante, la petite soupape du réservoir se trouve naturellement fermée par l'excès de pression de l'air comprimé dans ce réservoir ; mais, si le plongeur aspire, la pression diminue un peu dans la chambre à air sous le plateau mobile, et devient inférieure à celle de

l'eau ambiante ; immédiatement le plateau s'abaisse et ouvre la soupape du réservoir, l'air comprimé s'échappe et vient rétablir dans la chambre à air la pression de l'eau ambiante ; alors le plateau mobile se relève et referme la soupape du réservoir. On voit que le mouvement de la soupape suivra exactement le mouvement de la respiration du plongeur. Celui-ci respirera donc toujours sans gêne et sans effort de l'air à la pression de l'eau ambiante ; il sera affranchi de la fatigue et de la gêne, résulant de l'injection directe, plus ou moins régulière, opérée par la pompe ; il portera avec lui un réservoir lui permettant de vivre pendant quelques minutes isolé dans l'eau, et lui donnant, par conséquent, en cas d'accident, tout le temps nécessaire pour remonter à la surface ; enfin l'on pourra facilement alimenter avec la même pompe deux plongeurs travaillant à des niveaux différents. A ces différents titres, le régulateur de MM. Rouquayrol-Denayrouse constitue un perfectionnement précieux. On peut, du reste, adapter cet appareil au vêtement ordinaire du scaphandre, afin de protéger le plongeur contre le froid ou contre l'effet mordant de la chaux ; ou bien on peut l'employer seul et sans vêtement spécial, en plaçant tout simplement entre les lèvres du plongeur une embouchure à deux soupapes, l'une d'inspiration, l'autre d'expiration, ce qui permettra de faire descendre instantanément un plongeur au fond de l'eau, comme cela peut être nécessaire dans certaines circonstances, surtout à bord des navires.

Le scaphandre a été appliqué couramment depuis un certain nombre d'années dans les travaux maritimes en Angleterre et en France ; on est arrivé à former rapidement des plongeurs qui peuvent rester deux ou trois heures sous l'eau, et qui font généralement chacun deux stations par jour. Le supplément de salaire qui leur est alloué est ordinairement de 4 à 5 centimes par minute passée sous l'eau. L'usage de cet instrument précieux combiné avec le développement de la construction des blocs artificiels en béton ou en maçonnerie, a amené une innovation des plus heureuses pour la fondation des murailles à une grande

profondeur au-dessous de l'eau. Sur un fond déblayé et dressé par la main du scaphandrier, on vient échouer et arrimer des blocs superposés à sec, ou à bain de mortier, ce qui dispense de recourir à des épuisements souvent difficiles, ou au coulage du béton dans des encoffrements en charpente, procédé coûteux, sujet à des avaries par l'agitation de la mer, et aux malfaçons par suite de la difficulté de se débarrasser complétement de la laitance.

Le nouveau système de fondations sous-marines au moyen de blocs a reçu déjà des applications nombreuses et variées. En Angleterre, on a élevé les murailles supérieures des môles à la mer, en superposant de grands libages formés de gros blocs naturels en parement, et de petits blocs artificiels en béton par derrière. A Cette, M. l'ingénieur Régy a fondé heureusement des murs de quai en superposant à sec, par carreaux et boutisses, de gros blocs de béton qui n'avaient pas trouvé d'emploi au brise-lame. A Toulon, pour l'établissement d'une pile en maçonnerie à l'entrée de la darse Missiessy, on a exécuté les parements au moyen de blocs de 1 mètre cube en maçonnerie de moellons smillés, construits à terre, puis échoués et arrimés à la main sous l'eau par assises de 0m 80 de hauteur; on remplissait les joints en mortier de ciment coulé du haut par un tube en tôle; l'intervalle des deux maçonneries de parements ainsi exécutées était rempli en béton au fur et à mesure de l'élévation des assises successives, et l'on a obtenu ainsi un parement en matériaux résistants, et qui n'a pas coûté plus qu'un parement en béton derrière un vannage jointif. Le prix moyen de la maçonnerie de la pile n'a pas dépassé 34 francs par mètre cube. Au port Napoléon à Marseille, on a fondé tous les murs de quais au moyen de blocs de béton de 10 mètres cubes, fabriqués à terre, embarqués sur des chalands au moyen de grues et de chemins de fer, puis arrimés régulièrement par les scaphandriers avec l'aide d'une mâture flottante. Ces blocs sont disposés en parpaings à joints contrariés, sur

trois assises successives descendant à 6 mètres de profondeur au-dessous de l'eau ; une seule mâture flottante posait ainsi 240 blocs par mois.

Cette méthode de fondation a reçu de M. Maltrot de Varennes, dans les travaux de fondation des murs de quai du port de commerce de Brest, des perfectionnements ingénieux et une application plus hardie dont il est essentiel de dire ici quelques mots.

Les blocs sont exécutés en maçonnerie de moellons avec mortier de ciment de Portland ; ils cubent 45 mètres et pèsent 100,000 kilogrammes. On les construit à terre sur des plates-formes isolées, pouvant glisser sur une cale en charpente inclinée à 0m06 par mètre. Le mouvement de glissement est commandé par deux chaînes sans fin, mues par une locomobile et dont la tension est réglée par de petits appareils ingénieusement disposés. Chaque bloc est évidé, non loin des angles, suivant quatre petites cheminées verticales, dans lesquelles on introduit des tiges de fer en forme de T, faciles à placer et à retirer. Ces tiges permettent de suspendre le bloc au moyen de chaînes à un chaland que l'on amène à marée montante au-dessus de ce bloc, quand il est descendu sur son ber au bas de la cale. Le chaland est en tôle ; il a un faible tirant d'eau de 1m75 seulement, sous une charge de 125 tonneaux, et il porte une série de puits fermés en dessous par des portes en tôle, qui ne dépassent pas, étant ouvertes, le dessous horizontal du chaland. On a ainsi un appareil qu'on emploie indifféremment à l'échouage des enrochements ordinaires, ou bien au transport et à l'arrimage des gros blocs. Pour ce dernier objet on installe quatre treuils dont les chaînes, descendant par quatre des puits, vont saisir les tiges qui traversent le bloc et le soulèvent. Le chaland, conduit par un petit remorqueur, va s'embosser à l'emplacement convenable ; on laisse descendre doucement ce bloc, en se guidant sur la position de ceux déjà posés. On parvient ainsi à arrimer régulièrement ces énormes blocs et à les superposer sur deux assises, en laissant entre eux des joints ver-

ticaux de 0m05 seulement. D'ailleurs, le système ingénieux qui permet d'enlever et de replacer facilement les tiges de suspension en forme de T qui traversent le bloc, laisse toute facilité pour le relever et rectifier l'échouage en cas de besoin. La précision de manœuvres ainsi obtenue ne nuit pas à leur rapidité, car on peut échouer ainsi couramment, avec un seul appareil, trente blocs par mois, ce qui correspond à 1,350 mètres cubes de maçonnerie.

Le système de fondation au moyen de gros blocs échoués et arrimés régulièrement sous l'eau, sur un fond dressé au scaphandre, a reçu sous une autre forme, de 1860 à 1862, une application ingénieuse dans l'établissement d'un batardeau en maçonnerie, destiné à la formation d'une grande enceinte à épuiser, pour la construction de deux formes de radoub au port d'Alger; il fallait ici obtenir, en pleine eau et dans des profondeurs de 8 à 14 mètres, un mur continu et bien étanche, et, par conséquent, il paraissait indispensable de le former de béton coulé sur place; mais, au lieu d'employer un encoffrement continu très-long, auquel le ressac n'aurait pas manqué de causer des avaries graves, les ingénieurs du port d'Alger ont eu l'heureuse idée d'échouer des encoffrements isolés, de 11 mètres de longueur sur 5m50 de largeur, à distance les uns des autres, et qu'on a remplis de béton, en se réservant de venir combler, après coup, les intervalles par un procédé analogue. Les grandes caisses sans fond ont été embarquées sur une cale et échouées, au moyen d'une mâture flottante, sur une base préalablement arasée sous l'eau, avec du béton de ciment de Vassy, le tout d'une manière analogue à l'échouage et à l'arrimage des gros blocs. Le mur d'enceinte en maçonnerie, ainsi exécuté dans des eaux profondes et agitées, n'a pas coûté plus de 30 francs par mètre cube.

En dehors de ces grands travaux de fondation, où l'application du scaphandre fournit un précieux moyen d'exécution, il ne faut pas oublier les dérasements de roche et les déblais qu'on exécute maintenant sous l'eau avec la plus grande facilité.

L'explosion de mines américaines, au moyen de touques remplies de poudre, coulées sur le rocher, et auxquelles on met le feu à pleine mer, en utilisant la charge d'eau comme bourrage, ne réussit pas toujours; cette méthode, appliquée avec succès à Brest, au dérasement de la roche La Roze, était impuissante contre le granit d'un haut-fond situé dans le chenal de Cherbourg. Le scaphandre a permis d'aller attaquer cette roche au moyen de charges de poudre de 50 à 75 kilogrammes, descendues dans des puits forés au trépan sur 0m40 de diamètre et 2 ou 3 mètres de profondeur. Un petit échafaudage, formé d'un trépied facile à échouer et à déplacer, sert à manœuvrer le trépan, et deux radeaux sont employés au service des scaphandriers chargés de diriger le trépan, de bourrer les mines et d'enlever les déblais provenant des explosions.

Les travaux de fondation des ouvrages maritimes rencontrent souvent, dans la présence de couches de vase profondes, des difficultés aussi sérieuses que celles inhérentes aux travaux sous-marins que nous venons d'énumérer. Dans ce cas encore l'art des constructions a résolu ces difficultés par une méthode ingénieuse et qui est devenue classique, à la suite des applications heureuses qu'on en a faites à Saint-Nazaire, à Rochefort, et tout récemment, sur une très-grande échelle, au port militaire de Lorient, pour la fondation de piles de ponts et de murs de quais. A travers une couche de vase de 12 à 15 mètres d'épaisseur, on a descendu jusqu'au rocher de grands puits de forme rectangulaire de 3 mètres sur 6 mètres, dont les parois maçonnées ont 1 mètre à 1m20 d'épaisseur et reposent sur une plate-forme en charpente à section triangulaire pour former tranchant. La plate-forme étant échouée sur la vase, on maçonne constamment sur le haut du puits au fur et à mesure de sa descente, que l'on provoque en déblayant la vase à l'intérieur; les épuisements à faire sont peu coûteux, et on régularise l'enfoncement, en adoptant une marche rationnelle, basée sur l'observation des effets de déversement qui se produisent, et sur la recherche de leurs causes. Quand on est ar-

rivé près du rocher, on achève la maçonnerie en sous-œuvre en enlevant le cadre en charpente et on remplit l'intérieur du puits en béton. Cette méthode est simple et économique, puisque le mètre cube de maçonnerie des puits ainsi descendus à 15 ou 18 mètres au-dessous des hautes mers, ne ressort qu'à 43 fr. 60.

CHAPITRE V.

GRANDES ÉCLUSES ET FORMES DE RADOUB.

Les dimensions des grandes écluses à la mer et des formes de radoub ont dû croître progressivement avec celle des types du matériel naval. Le type habituel des vaisseaux de guerre à hélice exige une largeur de 19 mètres ; les grands transatlantiques à roues demandent 25 mètres. C'est ce dernier chiffre appliqué à Saint-Nazaire, à Liverpool, à Anvers, et projeté pour le port de commerce de Brest, qui paraît marquer aujourd'hui la limite supérieure adoptée couramment; cependant, on a construit exceptionnellement, à Liverpool et au Havre, une écluse de 30m50.

La partie la plus intéressante de la construction de ces grands ouvrages, c'est le mode de fermeture. Celui qui est resté jusqu'à présent le plus en usage et qui s'est très-bien prêté à l'augmentation progressive des dimensions, consiste en deux portes busquées en bois dont les écluses de Liverpool, de Southampton, de Great-Grimsby, en Angleterre, de Saint-Nazaire, du Havre et de Dunkerque, en France, nous offrent des types étudiés avec le plus grand soin. Chacune des portes offre l'aspect d'un cadre formé d'un poteau tourillon, d'un poteau busqué et d'une série d'entretoises horizontales, rendues solidaires entre elles par des montants et des bordages qui viennent raidir le tout dans le sens vertical.

Les expériences remarquables de M. l'ingénieur en chef

Chevallier ont démontré qu'un tel système présente le grand avantage de reporter sur le busc une portion notable de la charge (environ $\frac{8}{10}$ de la pression totale), et de répartir le surplus entre les diverses entretoises de telle sorte que la pression sur l'entretoise la plus chargée se trouve ramenée à un minimum (environ $\frac{1}{10}$ de la pression totale divisée par le nombre des entretoises); ce système est donc éminemment propre à résister à la poussée de l'eau. Quant au gauchissement par l'effet de la pesanteur qui tend à se produire quand les vantaux sont séparés, on s'y oppose, soit par de fortes écharpes susceptibles de serrage, soit par de grandes roulettes dont on se réserve le moyen de régler convenablement la charge, soit enfin, quand c'est possible, par des bracons en bois qui viennent trianguler le cadre formé par les pièces horizontales et par les pièces verticales. Deux modèles remarquables figurent à l'Exposition de 1867 :

1° Les portes de la grande écluse de la citadelle, au Havre, de 30m50 de largeur, sont formées chacune d'un seul cadre comprenant le poteau tourillon, le poteau busqué, et les entretoises horizontales. Celles-ci sont des poutres armées, faites avec des pièces de sapin courbées à la vapeur; il n'y a pas de bracon; les entretoises sont reliées entre elles, indépendamment d'un épais bordage, par des montants qui raidissent la porte et lui donnent une grande résistance contre la poussée de l'eau. L'action de la pesanteur est combattue à la fois par des écharpes partant de la tête du poteau tourillon et par des roulettes placées sous l'entretoise inférieure.

2° Dans les portes de l'écluse du bassin à flot de Dunkerque, de 21 mètres d'ouverture, on a employé des cadres triangulés par un système de bracons et d'écharpes analogues à ceux des portes ordinaires des canaux; mais pour éviter une trop grande inclinaison de ces bracons et écharpes, on a formé chaque vantail en ajoutant, l'un au bout de l'autre, deux cadres ainsi triangulés et on a assuré l'invariabilité du système, en augmentant la force des grands tirants horizontaux, qui relient les poteaux

tourillons et busqués, et qui, étant placés à l'aval du bordage, peuvent se resserrer au besoin facilement, quand les portes sont en charge.

Bien que les types de portes busquées en bois soient restés une solution très-convenable, au point de vue de la facilité d'emploi que présentent les grandes pièces de sapin dont elles sont essentiellement composées, les ingénieurs, s'inspirant des grands exemples de constructions en tôle aujourd'hui si répandues et si variées, ont une tendance à substituer le fer au bois dans la construction des portes d'écluses, et l'on ne peut qu'espérer d'utiles résultats des études dirigées dans cette voie. On peut citer déjà d'heureuses applications faites récemment en Angleterre pour la fermeture de grandes écluses de 24-40 à Jarrow (Tyne), et aux docks Victoria à Londres. Les portes busquées en tôle forment, quand elles sont fermées, un arc continu qui n'a à résister qu'à la pression longitudinale. Les entretoises, reliées par quelques cloisons verticales pour faciliter la répartition des pressions, et revêtues d'un doublage à l'amont et à l'aval, forment des caisses creuses qui servent à lester convenablement la porte et permettent ainsi d'annihiler les effets de la pesanteur ou de la sous-pression ; l'étanchéité de la fermeture est d'ailleurs obtenue par des fourrures en bois s'appliquant contre le busc et les chardonnets.

La facilité que présente la tôle, pour former de grands caissons étanches, a même conduit, dans certains cas, à substituer aux portes busquées un panneau unique formé d'une grande caisse en tôle qu'un lestage convenable permet de faire flotter au moment de la manœuvre, et de faire tourner autour de gros pitons fixés dans les bajoyers, et qui n'ont plus qu'à guider la rotation. Le dessus de la porte est utilisé comme pont pour les piétons et même pour les voitures. Cette application remarquable a été faite, il y a déjà longtemps, à Bristol pour une écluse de 16 mètres, et elle a été renouvelée récemment avec succès en Écosse, à Alloa, pour une écluse de 12 mètres et à Dundee, pour une de 21 mètres.

Le prix de revient plus élevé que pour les portes en bois, et l'incertitude qui règne encore sur les moyens d'assurer la conservation de la tôle dans l'eau de mer, sont les deux causes qui empêchent, pour le moment, les ingénieurs de marcher d'un pas plus assuré dans cette voie nouvelle, qui ne peut qu'être féconde en utiles résultats.

Les grands bassins de radoub sont des constructions qui, à part les aménagements intérieurs nécessaires au calage, à l'épontillage et à la réparation des navires, sont analogues aux écluses à sas. Mais ici la rapidité de manœuvre, pour la fermeture et l'ouverture du bassin, étant moins nécessaire que dans les écluses, on se contente généralement d'une fermeture flottante formée par un bateau-porte en tôle que l'on vient échouer, avec l'intermédiaire d'un matelas élastique ou de fourrures en bois, contre des rainures pratiquées dans les maçonneries.

Le bateau-porte flottant, ainsi disposé, fournit un excellent moyen de fermeture, mais il est lent, et, par ce motif, on a quelquefois eu recours à des portes busquées dont on trouve des exemples à Liverpool, à New-York et à Southampton. Mais, en général, la dépense d'établissement des maçonneries de ces grands ouvrages est telle que le sacrifice à faire pour l'allongement des bajoyers n'est pas en rapport avec l'avantage à recueillir par une plus grande rapidité de manœuvre. Ce sont même les énormes dépenses, les lenteurs et les difficultés d'exécution inhérentes à la construction des grandes formes de radoub en maçonnerie, qui ont conduit à des tentatives répétées sous plusieurs formes, et dont quelques-unes ont abouti à un résultat sérieux.

Nous nous contenterons de citer ici : l'appareil Clarke aux Victoria Docks à Londres, les plates-formes flottantes destinées à haler les navires à sec en les remontant sur des rails au moyen de presses hydrauliques (États-Unis), les formes flottantes en bois de Philadelphie (États-Unis), enfin les grands docks flottants en tôle, construits en Angleterre, et expédiés

dans divers ports, notamment à l'Arsenal Royal maritime de Carthagène (Espagne). Mais nous devons nous borner ici à une simple indication de ces appareils flottants, dont on trouvera la description et l'appréciation dans un rapport de la classe 66.

CHAPITRE VI.

DÉSENGORGEMENT DES PORTS.

Deux moyens sont appliqués pour combattre l'engorgement que les alluvions de diverse nature, galets, sables ou vases, tendent à produire dans un grand nombre de ports.

Dès le siècle dernier, on a construit des bassins de chasse, destinés à emmagasiner de grandes masses d'eau, qu'on lance à marée basse, de manière à déterminer un courant rapide qui entraîne les alluvions et les repousse en dehors des jetées. Là, il est indispensable qu'elles soient reprises et entraînées par les courants généraux du littoral, afin d'éviter la formation de barres à l'entrée des chenaux.

Ce procédé, qui exige l'établissement d'ouvrages définitifs et coûteux, a quelquefois conduit à des mécomptes. Cependant il continue à rendre d'excellents services dans certains ports, où il est manié avec intelligence, d'après une étude raisonnée du régime des courants et de la marche des alluvions sur le littoral. Aussi a-t-on développé encore dans ces derniers temps quelques ouvrages affectés au service des chasses, notamment dans les ports d'Ostende et de Dunkerque.

L'effet des chasses, à Dunkerque, vient d'être singulièrement amélioré par une heureuse application en grand des guideaux, faite par M. Plocq. Dans le but de soutenir le courant des chasses à la sortie du chenal, tout en évitant la prolongation des jetées fixes, qui provoquerait un allongement correspondant de l'estran, modifierait le régime des courants et ren-

drait plus difficile l'entrée du port, on emploie une jetée basse mobile échouée de basse mer et qu'on enlève au moment de l'étale ou du renversement des courants de marée du littoral. Dans ce but, on forme une flottille de trente grands guideaux de 10 mètres de longueur sur 6 à 7 mètres de largeur, qui est manœuvrée par 150 hommes et échouée au moyen de longues béquilles, que l'on peut hausser ou baisser à l'aide de petites chèvres établies à demeure sur les guideaux. On réalise ainsi une jetée basse de 300 mètres de longueur en prolongement de la jetée de l'est, par des profondeurs d'eau de 2 mètres à 3 mètres à basse mer. Ce moyen, appliqué cinq ou six jours de suite, pendant une période de vives eaux où la mer est assez calme, permet aux chasses de redresser la passe et de l'élargir aux dépens des sables envahissants de l'Ouest, sur une étendue que le régime naturel des apports des alluvions ne peut regagner qu'en plusieurs mois. La dépense ressort à 4,000 francs par guideau de 10 mètres de longueur.

La difficulté de bien calculer d'avance les effets à attendre des chasses, et plus souvent encore l'impossibilité de recourir à ce moyen (dans la Méditerranée, par exemple), ont provoqué dans les travaux maritimes l'emploi en grand des dragues.

Nous ne dirons rien des perfectionnements si remarquables apportés dans ces puissants instruments de travail ; mais il convient de signaler ici un appareil spécial, ingénieusement combiné en raison des circonstances locales. Les eaux vaseuses de la rade de Saint-Nazaire déposent dans le chenal et dans le bassin à flot une épaisseur de vase qu'on évalue annuellement à $1^{m}55$ par mètre carré de bassin, et à $14^{m}27$ par mètre carré de chenal. Malgré cette énorme quantité de dépôts, on est parvenu à assurer l'entretien du port moyennant une dépense annuelle relativement très-faible : 69,000 francs par an. L'idée ingénieuse due à M. l'inspecteur général Tostain, développée et mise en pratique par les ingénieurs de Saint-Nazaire, consiste à pomper

les vases avant qu'elles aient dépassé la densité de 1,19. On emploie pour cela un bateau en tôle à la fois pompeur et porteur, dont la machine s'attèle successivement sur les pompes et sur l'hélice; on pompe la vase au moyen de tuyaux articulés formant suçoirs, et on va la décharger au large, à 1,200 ou 1,500 mètres de distance, en ouvrant de simples clapets. Les vases dont la densité a dépassé 1,19 sont enlevées par des dragues ordinaires. Les résultats annuels se résument ainsi : 356,000 mètres de vase dont trois quarts pompés et un quart dragué, représentant une dépense totale de 69,000 francs, savoir : 39 centimes par mètre cube de vase pompée et 72 centimes par mètre cube de vase draguée.

CHAPITRE VII.

ENGINS MÉCANIQUES APPLIQUÉS DANS LES PORTS.

La manutention des marchandises et celle des diverses pièces entrant dans la construction des navires, nécessitent l'emploi d'apparaux puissants, se prêtant à des manœuvres rapides avec le secours de forces mécaniques, et qu'il faut cependant pouvoir installer au bord des quais en encombrant le moins possible l'espace réservé à la circulation.

Le problème a été résolu de la manière la plus heureuse par M. Armstrong, qui a fait, avec un succès constant, de nombreuses applications de son système, en Angleterre, depuis 1851.

Un accumulateur emmagasine le travail d'une machine à vapeur, sous la forme d'eau comprimée, dans un cylindre, sous une pression d'environ 50 atmosphères, et un réseau de conduites de pression permet d'utiliser, rapidement et instantanément, une portion du travail disponible en l'appliquant à une grue, à un treuil, à la manœuvre de portes d'écluses, etc. Ce système ingénieux, qui est aujourd'hui complétement passé dans la pratique et dont les appareils hydrauliques ont été

pourvus de tous les mécanismes de sécurité nécessaires, a reçu une intéressante application au port de Lorient, pour la manœuvre rapide des vannes d'une forme de radoub. L'appareil a été construit par M. Neustadt, et il est représenté à l'Exposition par un modèle. L'accumulateur utilise le travail disponible de la machine d'un atelier voisin, et d'ingénieuses combinaisons règlent automatiquement les relations de cet accumulateur avec la machine, de manière à rendre l'emprunt de force fait à celle-ci aussi régulier que possible.

On doit au même constructeur une heureuse application de la tôle, pour l'érection d'un de ces grands apparaux de transbordement et de mâtage, dont la présence au bord des quais des bassins est nécessaire pour la mise au levage des énormes masses indivisibles et encombrantes, telles que grands mâts, machines et chaudières, qui entrent dans l'armement des navires. Aux grandes mâtures en bois appliquées encore récemment en Angleterre pour le levage de charges de 30, 40 et 50 tonnes, M. Neustadt a substitué deux grandes bigues doubles en tôle, inclinées, dont les pieds s'appuient sur des rotules portées par des massifs de maçonnerie, et placées respectivement à 2 mètres et à 25 mètres de distance de l'arête du quai. Les deux bigues sont réunies en tête par l'intermédiaire d'articulations avec un pont de service de 23 mètres de longueur et 1^{m} 30 de largeur, portant le chariot de roulement auquel on suspend les poids. L'ensemble de la machine forme ainsi un grand parallélogramme articulé dont la base supérieure est élevée de 41 mètres au-dessus du niveau du quai et forme une saillie de 19^{m}50 au delà de son arête. La fixité du système est maintenue par des haubans disposés en arrière, formés de bielles en fer accolées et ancrées solidement sur des massifs de maçonnerie. D'autres haubans latéraux assurent le contreventement. Une machine, recevant la vapeur d'un générateur placé dans un atelier voisin, est installée à 7 mètres au-dessus du quai sur

la bigue d'arrière. Cette machine commande, isolément ou simultanément, deux treuils destinés, l'un aux mouvements verticaux, l'autre aux mouvements horizontaux et, au moyen de chaînes de Gall, ces treuils actionnent le chariot placé sur le pont de service supérieur. Toutes les manœuvres peuvent ainsi se faire du bas, mécaniquement, avec célérité et sécurité; des mécanismes de sûreté arrêtent automatiquement l'introduction de la vapeur, quand le fardeau est arrivé aux limites de sa course; la grande hauteur et l'énorme saillie du pont de service permettent d'exécuter toutes les manœuvres nécessaires à l'armement du navire, sans le déplacer; enfin, cet appareil puissant, capable de manier des charges de 50 à 60 tonnes, ne produit aucun encombrement sur le quai et se trouve facilement accessible par les wagons qui, au moyen de voies ferrées, le mettent en relation avec les divers ateliers de l'arsenal.

Cette grande machine, construite au port militaire de Toulon en 1864-1865, a employé 390,000 kilogrammes de fer et a coûté 400,000 francs, plus 100,000 francs pour la construction des massifs de maçonnerie.

CHAPITRE VIII.

CONSERVATION DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DANS L'EAU DE MER.

Les diverses corrosions que l'eau de mer fait subir aux matériaux de construction qui y sont immergés, notamment aux mortiers, au bois et au fer, ont été constamment l'objet d'observations et d'études attentives de la part des ingénieurs des travaux maritimes.

Les chaux et ciments sont appréciés, au point de vue de leur qualité et de leur fabrication, dans la partie du rapport qui traite spécialement des matériaux de construction. Deux de ces produits, le ciment de Portland, dans les eaux de l'Océan,

la chaux du Theil, dans celles de la Méditerranée, paraissent offrir toutes les garanties désirables, et tendent à être employés presque exclusivement dans les constructions les plus importantes baignées par l'eau de mer. Ce sont, du reste, les deux seuls produits sur lesquels on puisse compter en ce moment d'une manière certaine.

Pour les autres mortiers, les expériences faites laissent encore des doutes sur leur conservation indéfinie, surtout quand ils sont soumis au contact renouvelé de l'eau de mer. Certains mortiers, qui avaient bien résisté à Cherbourg pendant une période de cinq ans et même de onze ans, ont montré ensuite des traces d'altération. De là un surcroît de précautions à prendre, notamment pour la fondation des grands ouvrages dont la stabilité doit être mise à l'abri de toute éventualité possible. C'est dans cet esprit que les murailles du fort Chavagnac, à Cherbourg, malgré l'emploi exclusif du mortier de Portland au-dessous des hautes mers de mortes eaux, ont été protégées par un parement extérieur en pierres de taille, et aussi par une assise inférieure exécutée tout entière avec de grands libages ; le tout, dans le but d'isoler autant que possible les maçonneries intérieures du contact de l'eau de mer se renouvelant facilement.

La préservation des bois contre les ravages des tarets est une des questions les plus graves qui soient aujourd'hui à l'état d'étude. En dehors des procédés coûteux et d'une application souvent difficile, de mailletage et de doublage métallique, on a poursuivi, non sans succès, depuis quelque temps, en Angleterre, en Belgique, en Hollande et en France, d'autres procédés de conservation, basés principalement sur l'injection des bois par diverses matières, notamment par l'huile lourde de goudron, qui est un des résidus de la fabrication du gaz. Un atelier spécial de créosotage a été créé en France en 1864, au port des Sables-d'Olonne, sous la direction de M. l'ingénieur en chef Forestier, qui a exposé une collection de bois soumis à l'action des tarets, et qui a

résumé dans une intéressante notice les principaux résultats des expériences faites jusqu'à ce jour. Les bois créosotés à fond ont bien résisté à l'action du ver taret; mais on ne peut pas encore considérer le procédé de créosotage comme une solution bien efficace du problème; car il paraît résulter d'essais faits en Belgique par M. l'ingénieur Crépin, que les bois qu'on avait cru devoir injecter à très-haute pression pour que l'huile en pénétrât bien toutes les fibres, avaient subi une altération fâcheuse et perdu une partie notable de leur force et de leur élasticité. Malgré cela les expériences de créosotage se recommandent tout spécialement à l'attention des ingénieurs et des divers gouvernements par l'importance du but à atteindre; car un procédé de conservation infaillible produirait certainement une heureuse révolution dans les travaux maritimes, en raison de l'économie et des facilités remarquables que présente l'emploi d'une matière, qui restera toujours la moins coûteuse, la plus souple et la plus facile à travailler.

La conservation du fer dans l'eau de mer a aussi été l'objet de recherches attentives; divers procédés de peinture ou de doublage ont été imaginés; ces travaux seront mieux appréciés dans le rapport sur l'industrie des constructions navales, qui emploie aujourd'hui le fer en si grande quantité et qui, à ce titre, est la plus intéressée dans la question. Cependant les ingénieurs des travaux hydrauliques doivent suivre avec attention les recherches de leurs collègues des constructions navales, car les progrès réalisés dans l'une de ces deux branches d'industrie connexes, ne manqueraient pas d'exercer sur l'autre la plus heureuse influence.

SECTION X

PHARES

PAR M. LÉONCE REYNAUD.

CHAPITRE I.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

L'éclairage des côtes a pris depuis quelques années une importance qu'il n'avait pas autrefois, et qu'expliquent les exigences nouvelles de la navigation maritime, qui, non-seulement s'est développée dans une forte proportion, mais encore a dû sortir de ses anciens errements, en ce qui est de la rapidité des transports. Réduire la durée de ses opérations, était, pour la navigation au long cours, obéir à l'une des tendances les plus prononcées de l'époque ; pour le cabotage, c'était plus : c'était une question de vie ou de mort, en présence de la concurrence des chemins de fer. Aussi voit-on que nos ports de relâche, si fréquentés naguère, sont presque constamment déserts aujourd'hui. Que les vents soient contraires, que les dangers du littoral soient prochains, de nuit comme de jour, il faut marcher et même atterrir, et la première condition est que des feux, suffisamment rapprochés, signalent la route à suivre, les écueils à éviter. Des considérations d'un autre ordre ont d'ailleurs également engagé les puissances maritimes dans la voie bienfaisante qu'elles ont poursuivie

avec ardeur : les sentiments d'humanité, le respect de la vie humaine, qui sont une des gloires de notre temps, ont eu une large part à ce mouvement.

A la Grande-Bretagne appartient l'honneur d'avoir doté son littoral de phares nombreux, alors que les autres nations laissaient le leur dans une obscurité presque complète.

Il résulte des documents que nous avons pu nous procurer que, en 1830, l'on ne trouvait, en France, que 63 phares, en Espagne, que 15, en Russie, que 18, aux États-Unis, que 130 ; que l'Italie et la Hollande n'en avaient qu'un fort petit nombre à cette époque ; que la plupart de ces feux étaient de très-faible portée ; enfin qu'il n'y en avait pas un seul sur les côtes de Turquie. Mais, depuis lors, la France, la première, les autres puissances, ensuite, ont exécuté d'importants travaux de ce genre ; l'Angleterre a continué les siens, et l'on comptait au 1er janvier 1867 sur les côtes des Iles Britanniques 556 phares de divers ordres ; sur celles de France, l'Algérie non comprise, 291 ; en Espagne 151, en Italie 145, en Hollande 115, en Russie 103, en Turquie 114 et aux États-Unis 413. Les nouveaux feux établis de 1862 à 1867 sont au nombre de 68 pour l'Angleterre, 37, pour la France, 58, pour l'Espagne, 53, pour l'Italie, 21, pour la Hollande, 31, pour la Russie et 55 pour la Turquie. Les États-Unis en ont inauguré 14, indépendamment de ceux qui, détruits pendant la guerre civile, ont été rétablis depuis la paix. Ces chiffres prennent plus d'intérêt, lorsqu'on les compare au développement des côtes auxquelles ils se réfèrent, ainsi que le permet le tableau qui suit :

NOM de LA PUISSANCE MARITIME.	NOMBRE de feux de divers ordres au 1er janvier 1867.	DÉVELOPPEMENT du littoral en kilomètres.	ESPACEMENT moyen des feux en kilomètres.
France	291	3 806	13,08
Grande-Bretagne	556	9 204	16,55
Espagne	151	3 130	20,73
Italie	145	5 473	37,74
Hollande (1)	115	1 683	14,63
Russie d'Europe	97	11 935	123,24
Russie d'Asie	6	16 798	2.799,61
Turquie d'Europe	41	4 195	102,31
Turquie d'Asie	73	6 251	85,62
États-Unis	413	13 057	31,61

(1) La plupart des feux de la Hollande, éclairant des canaux intérieurs, sont de très-faible portée.

Un mot d'explication paraît nécessaire au sujet des développements de côtes portés sur ce tableau. Ils ont été mesurés sur des polygones de cinq milles marins de côté, circonscrits à chaque continent ou île de grande dimension, et l'on a pris le plus petit polygone enveloppant pour les archipels condensés, tels que ceux des Hébrides et des Shetland. On a fait ainsi abstraction de toutes les petites anfractuosités qui sont sans importance pour l'objet dont il s'agit, et l'on est sorti de la vérité matérielle pour être moralement vrai. Sur les fleuves ouverts à la navigation maritime, on a fait entrer les deux rives en ligne de compte jusqu'au point où s'étend l'éclairage; ainsi, sur la Loire, jusqu'à Paimbœuf, et, sur la Gironde, jusqu'à Pauillac. Les côtes de Russie n'ont été comptées, sur la mer Glaciale, que jusqu'à la frontière d'Asie, et, sur l'Océan Pacifique, que jusqu'au cap Est du détroit de Behring, parce qu'il n'y a, pour ainsi dire, pas de navigation dans le long intervalle, en partie inconnu, qui sépare ces deux points dans le Nord. La mer Noire et la mer d'Azof ont été mesurées, mais les mers intérieures ont été laissées de côté.

Les puissances maritimes ne se sont pas bornées, d'ailleurs,

à augmenter le nombre de leurs phares et à en établir sur des écueils, où les marins les plus compétents doutaient du succès; un premier pas a été fait dans une direction où il est évident que les nations civilisées sont appelées à s'engager, dans le double intérêt de l'humanité et des relations maritimes.

A l'entrée du détroit de Gibraltar, sur la côte d'Afrique, est un cap tristement célèbre, le cap Spartel, qui a été le théâtre de nombreux sinistres, et, entre autres, en 1860, de la perte totale de la frégate école du Brésil, où périrent 250 hommes. Or le Maroc n'a pas de marine; ses sujets bénéficient des naufrages qui se produisent sur son littoral, et il était par conséquent fort peu disposé à élever un phare dont les étrangers seuls recueilleraient les bienfaits. Mais la France, prenant l'initiative, a exercé encore ici sa précieuse influence, elle a concouru à l'exécution des travaux par l'envoi d'un ingénieur et de plusieurs ouvriers, et, grâce à elle, un feu de premier ordre est allumé sur le cap redoutable, depuis le 15 octobre 1864, et a déjà prévenu bien des malheurs.

Ce phare est entretenu aux frais des nations étrangères, au nombre de dix, qui s'y sont reconnues intéressées, et son service est confié à des Européens, sous la surveillance d'une commission composée des consuls à Tanger de ces diverses puissances.

Les autres progrès accomplis dans l'éclairage maritime du globe, depuis la dernière Exposition Universelle portent, en ce qu'il y a de fondamental, sur la disposition des appareils d'éclairage, les modes de production de la lumière et la construction des édifices. Ils vont être successivement passés en revue.

CHAPITRE II.

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

Deux noms dominent dans l'histoire des appareils d'éclairage : celui de Teulère, ingénieur de la généralité de Bordeaux, qui a inventé les réflecteurs paraboliques, en 1783; celui d'Augustin Fresnel, qui, aux plus importants travaux scientifiques sur la lumière, a ajouté, en 1822, l'invention des phares lenticulaires. Tous nos appareils actuels, si diverses que soient leurs dispositions, se rattachent à l'une ou à l'autre de ces créations.

Quatre établissements, dont trois en France et un en Angleterre, sont consacrés à la fabrication des appareils lenticulaires et des divers ouvrages et mécanismes qui s'y rattachent. Ce sont ceux de MM. Henry Lepaute, Sautter et Cie, Barbier et Fenestre, à Paris, et de M. Chance, à Birmingham. Des expériences photométriques, faites sur les principaux appareils d'éclairage admis à l'Exposition, établissent que les produits de ces diverses usines atteignent presque à la perfection, et, si l'un des constructeurs n'a pas obtenu une aussi haute récompense que les autres, il faut l'attribuer uniquement au retard qu'a éprouvé son exposition, retard dû à des causes indépendantes de sa volonté.

Outre les remarquables progrès dans l'exécution, d'importantes innovations ont été introduites depuis quelques années pour la disposition des appareils lenticulaires.

L'une d'elles est due à M. Chance.

Elle permet de diriger utilement vers l'horizon maritime une plus grande quantité des rayons lumineux divergeant du côté des terres qu'on ne l'avait fait jusqu'alors. Deux systèmes différents étaient employés à cet effet : dans les phares français, on a eu recours jusqu'à présent à des réflecteurs sphériques exécutés en cuivre argenté ; dans quelques phares d'Angleterre,

on avait donné la préférence à des anneaux en verre de section triangulaire et posés verticalement, remplissant le même office par une double réflexion totale, précédée et suivie d'une réfraction. Le premier présentait l'avantage de l'économie dans les frais d'établissement, le second, le mérite d'une moindre absorption de rayons lumineux. Mais à tous deux est attaché un grave inconvénient, qui les rend peu efficaces et fait comprendre le motif pour lequel les ingénieurs français ont donné la préférence au moins dispendieux : l'image de la flamme qu'ils renvoient au foyer est renversée, d'où il suit que s'ils étaient exactement centrés, une grande partie des rayons réfléchis seraient projetés sur le bec de la lampe, qui les arrêterait, en même temps qu'il serait échauffé par eux outre mesure. On est obligé donc de disposer les réflecteurs de telle sorte que le point le plus brillant de l'image soit reporté au-dessus du foyer de l'appareil et il en résulte que la plupart des rayons recueillis par eux plongent après leur passage à travers le tambour dioptrique, et sont perdus pour l'éclairage à grande distance, qui est l'objet essentiel. M. Chance a eu l'heureuse idée de placer horizontalement les anneaux à double réflexion totale ; l'image n'est plus renversée, elle se superpose exactement à la flamme, dont elle augmente l'intensité lumineuse dans une forte proportion. Des expériences photométriques ont établi que le réflecteur d'appareil de premier ordre, exposé par lui, restitue utilement environ les $\frac{75}{100}$ des rayons qu'il reçoit. Cette disposition nouvelle paraît de nature à être avantageusement employée en plusieurs circonstances.

Des appareils exposés par la commission des phares d'Écosse et remarquablement exécutés montrent comment, en combinant un réflecteur de ce genre avec des lentilles dioptriques et des prismes verticaux à réflexion totale, on peut distribuer la lumière émanée du foyer en faisceaux disposés suivant les directions et présentant l'amplitude qu'exigent les circonstances locales. L'un d'eux concentre tous les rayons lumineux dans un espace angulaire de 45°.

Nous devons ajouter, pour rendre hommage à la vérité, que M. l'ingénieur Degrand, alors attaché au service des phares de France, avait eu, en 1850, la même pensée que M. Chance, et avait calculé les profils à adopter; mais aucune occasion ne s'était présentée d'y donner suite, et elle était tombée dans l'oubli. Cette observation ne tend donc nullement à enlever au constructeur anglais le mérite de l'invention.

A mesure que les phares se multiplient, il devient nécessaire de leur assurer un plus grand nombre de caractères distinctifs, afin de prévenir des méprises qui pourraient avoir de funestes conséquences. Un système d'appareils, récemment adopté par la commission des phares de France, produit ce qu'on appelle un feu scintillant, c'est-à-dire un feu dont les éclats se succèdent à de très-courts intervalles et sont séparés par des éclipses totales, ce qui le distingue très-nettement de tous ceux qui sont actuellement allumés sur nos côtes.

Chacun des constructeurs français a exposé un appareil de ce genre, qui est exécuté avec la plus grande précision, et dans les meilleures conditions mécaniques.

On remarque également à l'Exposition un appareil beaucoup moins important, mais présentant des apparences analogues et qui paraît appelé à de nombreuses applications. Il consiste en un simple réflecteur parabolique devant lequel un écran passe rapidement à des intervalles de quatre secondes. Des réflecteurs de ce genre sont fréquemment employés, quand les rayons lumineux émanés du foyer doivent être maintenus dans un espace angulaire très-restreint, comme lorsqu'il s'agit de signaler la direction d'une passe étroite, et quand il n'est pas nécessaire d'ailleurs d'assurer au feu une grande portée, ce qui est le cas le plus habituel. Les courtes éclipses que produit le passage de l'écran ont pour objet d'empêcher que le phare ne soit confondu avec les autres feux allumés dans les mêmes parages. Un appareil de cette espèce a été installé en 1865, sur l'île de Patiras, dans la Gironde, et d'autres sont en construction pour être placés sur divers points de notre litto-

ral. Ce système est moins favorable à l'économie de la lumière que ne le serait un appareil lenticulaire disposé de manière à ne pas donner plus de divergence au faisceau lumineux ; mais il a le mérite d'être beaucoup moins dispendieux. Il y a lieu de donner la préférence à l'une ou à l'autre disposition, suivant la distance à laquelle on se propose de porter la lumière.

L'huile minérale a été substituée depuis quelques années à l'huile de colza dans tous les feux de quatrième ordre des côtes de France, et, la forme de sa flamme étant toute différente de celle qui avait servi de base aux calculs des anciens appareils, on a dû adopter de nouveaux profils, pour tirer le parti le plus utile du combustible préféré. Un appareil placé au sommet d'une tourelle en tôle, établie sur la rive gauche de la Seine, offre un exemple intéressant des dispositions auxquelles se sont arrêtés les ingénieurs français. Il se compose de six lentilles annulaires, en partie dioptriques, en partie catadioptriques, qui produisent de vifs éclats colorés en rouge, se succédant de vingt en vingt secondes.

L'application toute récente de la lumière électrique à l'éclairage des phares a exigé plus de modifications encore dans la disposition des appareils lenticulaires. Il fallait s'assurer une divergence convenable, sans dépasser d'ailleurs une certaine limite, et l'on devait proscrire les montants verticaux, qui, dans les phares alimentés à l'huile, ne déterminent qu'une réduction peu importante de l'intensité lumineuse dans un espace angulaire très-restreint, mais qui auraient pour effet de produire une occultation complète, alors que le foyer lumineux est réduit à moins d'un centimètre de diamètre. Il était essentiel, en outre, de ne pas obliger les gardiens à regarder constamment une flamme d'une intensité redoutable, pour s'assurer si elle se maintenait bien exactement au foyer de l'appareil et même de leur faire reconnaître le moindre déplacement avec plus de précision que ne le permet l'observation directe.

Il a été satisfait à ces diverses conditions dans les deux phares

du cap de la Hève, qui, après des expériences poursuivies pendant plusieurs années, tant à Paris que sur place, ont été éclairés à la lumière électrique à partir du 2 novembre 1865.

Les appareils n'ont que 30 centimètres de diamètre ; ils ont reçu les profils qu'exigeaient la forme et les dimensions du foyer lumineux. La lanterne dont les dimensions sont très-restreintes n'a point de montants dans toute l'étendue de l'horizon maritime, et l'appareil n'en a que de très-faibles, lesquels sont inclinés de manière à ne produire qu'une réduction d'intensité tout à fait insignifiante ; enfin une petite lentille, placée dans l'angle mort de l'appareil, renvoie contre la paroi opposée de la chambre une image très-amplifiée de la lumière, qui permet au gardien de juger sans fatigue s'il s'est produit, malgré le régulateur, une déviation appréciable dans la hauteur du foyer lumineux.

Chaque appareil est muni de deux régulateurs qui glissent sur de petits chemins de fer, et saisissent le courant dès que, parvenus à la fin de leur course, ils ont, par cela même, placé le point lumineux au foyer de l'appareil. Il suffit de quelques secondes pour substituer un de ces mécanismes à l'autre. Deux appareils lenticulaires sont superposés dans chaque lanterne, afin que le service ne soit pas exposé à être interrompu si l'un d'eux éprouvait un accident, et des commutateurs, placés à portée du gardien, permettent de faire passer instantanément la lumière de l'un à l'autre.

Deux machines magnéto-électriques sont affectées à chacun des phares, également par mesure de précaution ; mais on les met toutes deux en mouvement, lorsque, l'atmosphère étant peu transparente, il y a intérêt à augmenter l'intensité lumineuse.

Des dessins très-complets rendent compte de toutes les dispositions qui ont été adoptées pour cette première application de la lumière électrique sur les côtes de France.

L'intensité lumineuse des phares de premier ordre de la Hève était évaluée à 630 becs de lampe carcel, lorsqu'ils étaient ali-

mentés à l'huile ; elle s'élève aujourd'hui à 5,000 becs, quand une seule machine magnéto-électrique est en fonction, et elle est plus que doublée, quand les deux machines y concourent.

Ces phares sont à feu fixe, et celui qui est allumé en Angleterre, sur la pointe de Dungeness, présente le même caractère ; mais il était évident que la lumière électrique pouvait s'appliquer avec avantage aux phares à éclipses, moyennant certaines modifications dans la disposition des appareils. La question a été étudiée par les ingénieurs français, et trois systèmes présentant des caractères différents sont exposés par le ministère des Travaux publics dans un pavillon spécial.

Le premier se compose d'un appareil à feu fixe, de 30 centimètres de diamètre, qu'enveloppe sur toute sa hauteur un tambour formé de dix-huit lentilles cylindriques verticales, embrassant chacune une angle de 20°, et excentrées de manière à produire une divergence horizontale de 6°,40. Les éclats se succèdent de deux en deux secondes, et leur durée est moitié de celle des éclipses.

Le second appareil présente un feu fixe varié par des éclats qui se succèdent de minute en minute, et sont accompagnés d'éclipses de très-courte durée. Les éclats sont produits par des lentilles à éléments verticaux, sous-tendant chacune un angle de 60°.

Le troisième est destiné au phare de premier ordre à éclipses de trente en trente secondes du cap Grisnez. Ses lentilles à éléments verticaux, au nombre de huit, embrassant chacune un angle de 45°, sont excentrées de manière à donner une divergence horizontale de 18°, et laissent à découvert les trois anneaux catadioptriques inférieurs, de telle sorte que les éclipses ne soient pas totales. La durée des éclats est de douze secondes, tandis que celle des éclipses est de dix-huit secondes.

Si précieuse que soit la lumière électrique pour l'éclairage du littoral, deux motifs principaux s'opposent à sa propagation. En premier lieu, la plupart des grandes puissances maritimes ont déjà établi des phares de premier ordre sur tous les points

qu'il est le plus essentiel de signaler aux navigateurs, et il est difficile de se résoudre à l'abandon d'appareils d'un prix fort élevé, dont l'intensité était jugée bien suffisante jusque dans ces derniers temps, et auxquels d'ailleurs la découverte d'un nouveau mode de production de la lumière pourrait rendre tous leurs mérites ; en second lieu, la multiplicité et la complication relative des mécanismes font craindre que le nouveau système ne présente pas assez de sécurité pour qu'on puisse, sans quelque imprudence, l'appliquer sur des points isolés où la surveillance des ingénieurs ne saurait être très-active. Une disposition adoptée par la commission des phares de France, pour le phare du cap Grisnez, paraît offrir une heureuse solution du problème.

Ainsi que le montrent les dessins exposés, elle consiste à conserver l'appareil existant, et à installer l'appareil électrique sur la plate-forme extérieure, dans la hauteur du soubassement de l'ancienne lanterne. Un simple renvoi de mouvement permet à la machine de rotation de faire tourner à volonté l'un ou l'autre appareil. Un des organes qui concourent à l'éclairage électrique vient-il à se déranger, une lampe à huile est allumée immédiatement dans l'ancien appareil, et, si le phare perd de son intensité, ce n'est pas au point de compromettre la sécurité des navigateurs.

Le tableau qui suit fait connaître les intensités des divers appareils d'éclairage dont on vient de parler (*Voir* p. 347).

NATURE de L'APPAREIL.	MODE de production de la lumière.	INTENSITÉ des éclats en becs de carcel.	CARACTÈRE DU FEU.
Appareil lenticulaire de 1er ordre, de 1m84 de diamètre, composé de 24 panneaux.	Huile de colza.	2 475	Feu scintillant à éclipses de 1 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire de 4e ordre, de 0m375 de diamètre, composé de 6 panneaux.	Huile de schiste.	200	Feu à éclipses de 20 en 20 secondes.
Réflecteur parabolique, de 0m50 d'ouverture, avec écran.	Huile de colza.	200	Feu scintillant à très-courtes éclipses de 1 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire formé d'un appareil de 0m30, entouré d'un tambour de 18 lentilles.	Électricité.	20 000	Feu scintillant à éclipses de 2 en 2 secondes.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, à feu fixe, avec 3 lentilles mobiles.	Électricité.	Feu fixe. 5 000 Éclats.. 73 500	Feu fixe, varié par des éclats de minute en minute.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, composé de 8 panneaux de lentilles annulaires.	Électricité.	15 000	Feu à éclipses de 30 en 30 secondes.

Les chiffres afférents à la lumière électrique sont ceux que donne une seule machine magnéto-électrique ; ils s'élèvent à plus du double, lorsqu'on met en mouvement les deux machines, que comporte chaque phare éclairé de la sorte.

CHAPITRE III.

MODES DE PRODUCTION DE LA LUMIÈRE.

Après avoir été alimentés au bois, à la houille, quelques-uns même avec des chandelles de suif, la plupart des phares

le sont aujourd'hui au moyen de l'huile et principalement de l'huile de colza, qui, de toutes les huiles grasses, a été reconnue la plus convenable pour ce service. Mais, depuis quelques années, deux autres modes de production de la lumière se sont fait jour et présentent des avantages marqués sur les précédents : la combustion des huiles minérales et les courants électriques.

Les huiles minérales sont des hydrocarbures dont l'origine est diverse ; les unes, connues sous le nom de pétrole, forment des dépôts sur divers points du globe, surtout dans l'Amérique du Nord ; les autres s'extrayent par la distillation de certains schistes, et ont reçu le nom d'huile de schiste. Quand leur combustion est convenablement réglée, ces huiles produisent une flamme beaucoup plus éclatante, par unité de surface, que celles des meilleures huiles ordinaires, et elles sont en outre notablement moins dispendieuses que les autres. Aussi se sont-elles rapidement propagées, malgré les inconvénients qu'elles présentent. Malheureusement, à raison de la quantité d'oxygène qu'elles exigent pour bien brûler, on n'est pas parvenu à produire avec elles des flammes comparables à celles que donnent les lampes à mèches multiples, et leur application à l'éclairage des côtes a dû se borner aux appareils lenticulaires de quatrième ordre, qui ne comportent que des lampes à une seule mèche. Avec un appareil établi en vue de ce nouveau combustible on obtient un éclat double de celui qu'on aurait eu avec de l'huile de colza, et la dépense en huile est réduite de moitié environ.

C'est au contraire aux phares qui réclament beaucoup d'intensité, et à eux seuls, dans l'état actuel de la science, que convient la lumière engendrée par les courants électriques, et ce sont les machines magnéto-électriques qui ont permis de l'appliquer à l'éclairage maritime.

Ces machines sont traitées avec le développement qu'elles exigent dans un autre rapport, de même que leurs annexes obligées, les régulateurs de la marche des charbons, et nous

'avons à parler que de leur produit au double point de vue le l'éclat et du prix de revient de la lumière. Peut-être cependant n'est-il pas hors de propos de rappeler ici les noms des hommes, quelques-uns célèbres, d'autres obscurs, dont les découvertes ont concouru le plus efficacement à faire entrer les courants électriques dans la pratique de l'éclairage. Peu de mots d'ailleurs y suffiront.

Vient en première ligne Œrstedt, qui signale l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; puis interviennent successivement Ampère, qui fait des aimants avec des courants; Faraday, qui montre que réciproquement des aimants engendrent des courants; Pixii, qui met en évidence ce dernier ordre de phénomènes, au moyen d'un instrument que Clarke améliore bientôt, et qui, amplifié par divers constructeurs, devient la machine magnéto-électrique actuelle ; enfin un simple ouvrier, aujourd'hui contre-maître de la compagnie *l'Alliance*, M. Joseph Van Malderen, qui a l'heureuse idée de supprimer le commutateur employé au redressement des courants et augmente par là, dans une forte proportion, l'intensité de la lumière.

Une machine magnéto-électrique de la compagnie *l'Alliance*, composée de six disques de seize bobines chacun, donne une lumière dont l'éclat peut être évalué à 200 becs de carcel; placée au foyer d'un appareil catadioptrique à feu fixe de 0m30 de diamètre, cette lumière envoie sur toute la circonférence un faisceau lumineux dont l'intensité est égale à 5,000 becs environ. Nos phares de premier ordre à feu fixe, alimentés à l'huile, ne donnent pas plus de 630 becs.

Les dépenses annuelles d'un phare électrique sont un peu plus considérables que celles d'un phare de premier ordre, éclairé à l'huile, parce que le personnel est plus nombreux ; mais celles de premier établissement sont moindres, et le prix de l'unité de lumière est de beaucoup inférieur. Ainsi, pour les deux phares de la Hève, qui sont éclairés à la lumière électrique depuis 1865, les différentes dépenses ont été évaluées ainsi qu'il suit dans l'un et l'autre mode d'éclairage :

OBJET DE LA DÉPENSE.	MONTANT DE LA DÉPENSE.	
	ÉCLAIRAGE A L'HUILE.	ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.
Frais de premier établissement des appareils	94 000 fr. 00	72 800 fr. 00
Dépenses annuelles	15 157 fr. 40	17 000 fr. 00
Unité de lumière envoyée à l'horizon	0 fr. 00308	0 fr. 00040

La lumière électrique ne coûte donc pas, lorsqu'elle est produite dans les conditions qui viennent d'être exposées, la septième partie de ce que coûte la lumière résultant de la combustion de l'huile de colza.

Les machines magnéto-électriques employées pour les phares de France sont fournies par la compagnie *l'Alliance*, et les régulateurs de la marche des charbons sont dus à M. Serrin, qui a parfaitement su approprier ces mécanismes aux exigences du service.

CHAPITRE IV.

CONSTRUCTION DES ÉDIFICES.

A mesure que les phares se sont multipliés, de notables améliorations ont été introduites, tant dans leur distribution que dans leur système de construction, et les modèles et dessins d'édifices de ce genre exécutés en maçonnerie, qu'exposent diverses puissances maritimes, prouvent que l'art de l'ingénieur n'est pas plus stationnaire dans cette direction que dans les autres voies ouvertes à son activité.

On remarque dans cette catégorie, les phares français de la Banche, des Triagoz, de l'île d'Ouessant, de la roche la Croix et des dunes de Contis, le phare espagnol du cap de

Palos, le phare anglais du Hanois et le phare du cap Spartel (Maroc).

Ce dernier ne se recommande pas seulement par les services qu'il rend à une navigation des plus importantes ; l'édifice, qu'il fallait mettre à l'abri d'un coup de main de la part des indigènes, a reçu un grand développement, et sa construction a présenté les plus sérieuses difficultés, parce que l'endroit est complétement désert et que le pays, dépourvu de ressources en ouvriers ainsi qu'en matériaux, se montre peu favorable aux innovations. Il a fallu toute l'énergie et tout le dévouement de l'ingénieur, M. Jacquet, conducteur attaché à la direction des phares de France, pour surmonter les obstacles qui venaient incessamment entraver ses opérations.

Ce sont les phares métalliques qui témoignent surtout des progrès réalisés dans ces dernières années. Il en est trois dont les dispositions sont nouvelles, qui peuvent être présentés comme des types, et qu'il paraît convenable de signaler plus spécialement à l'attention du lecteur.

L'un d'eux, exposé par l'administration des Travaux publics d'Espagne, est représenté par un modèle remarquablement traité ; c'est le phare de deuxième ordre de l'île de Buda, à l'embouchure de l'Ebre. Il a été exécuté en Angleterre sur le projet de M. l'inspecteur général des ponts et chaussées d'Espagne Lucio del Valle, et il a été allumé, pour la première fois, en 1864.

Le sol sur lequel il repose est couvert d'environ un mètre d'eau, et consiste en un sable vaseux sans consistance sur une grande profondeur. Huit pieux à vis occupent les sommets d'un octogone de 17 mètres de diamètre, pénétrent de 9 mètres dans le terrain, et sont solidement reliés à leur sommet entre eux et avec un pieu central. Ils supportent les montants inclinés, que maintiennent et consolident de nombreuses pièces accessoires, au-dessus desquels s'élèvent la lanterne et la plateforme du phare. Les logements et magasins sont distribués dans deux étages revêtus extérieurement en tôle ondulée, dont

le supérieur est établi en retraite, et dont le premier plancher domine de 7 mètres environ une large risberme en maçonnerie destinée à mettre la construction à l'abri des affouillements. Un escalier en fonte, renfermé dans une tour centrale de 2 mètres de diamètre, conduit jusqu'au sommet de l'édifice. La galerie supérieure est élevée à 45m75 au-dessus des têtes des pieux, et le foyer de l'appareil domine de 53 mètres le niveau de la mer. Le poids de la construction métallique ne dépasse pas 183,000 kilogrammes.

Il y a de la hardiesse et même de l'élégance dans cette construction, qui résout de la manière la plus économique, le difficile problème que les ingénieurs espagnols avaient à traiter.

Un autre phare métallique a été conçu dans un tout autre esprit, par les ingénieurs français, c'est celui que l'administration des Travaux publics a exposé en dehors du palais, sur le bord du lac. Il doit être installé sur le plateau des Roches-Douvres, écueil très-redouté, situé à peu près à mi-distance entre l'île de Bréhat et celle de Guernesey, à 27 milles marins environ au large du port de Portrieux.

On l'a disposé de telle sorte que les pièces constituant l'ossature de l'édifice sont placées à l'intérieur au lieu de se montrer au dehors ; elles sont mises ainsi à l'abri des embruns de mer, cause énergique d'oxydation, et elles sont en outre d'une visite et d'un entretien faciles. On a réduit au minimum la surface exposée à l'air extérieur.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés et rivés de manière à être parfaitement solidaires, et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres, et sont maintenus dans leurs positions par des entretoises horizontales. Les feuilles de tôle du revêtement sont boulonnées sur les montants et les entretoises. La construction reposera sur un

massif de maçonnerie auquel chacun des seize montants sera fixé par six forts boulons de scellement.

Un escalier en fonte occupe le centre de la tour. Au pied sont distribués les logements et magasins, que des cloisons en briques divisent et mettent à l'abri des variations de la température extérieure.

L'édifice a 48m30 de hauteur depuis sa base jusqu'au niveau de la galerie qui entoure la lanterne, et son foyer dominera de 53 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les poids et les dépenses, y compris le montage et le démontage dans l'enceinte de l'Exposition, ont été évalués ainsi qu'il suit :

16,880 kilog. de fonte ordinaire, à 0 fr. 40.....	6,752 fr.	00
47,090 kilog. de fonte ajustée, à 0 fr. 55.....	25,899	50
219,380 kilog. de fers et tôle, à 0 fr. 70.....	153,566	00
20,450 kilog. de fers ajustés, à 1 fr. 40.....	28,630	00
1,065 kilog. 50 de bronze, à 6 fr. 20.....	6,606	10
5,100 mètres superficiels de peinture au minium à deux couches, à 0 fr. 75 le mètre.....	3,825	00
Menuiserie, ferrures des portes et fenêtres et objets divers à régler à prix débattus.....	2,000	00
Somme à valoir pour dépenses imprévues.....	22,721	40
TOTAL.....	250,000 fr.	00

Un phare du même genre, exécuté également à Paris, et installé en 1865 sur l'un des îlots de la Nouvelle-Calédonie, est représenté à l'Exposition par un modèle qu'a établi, avec une rare perfection, le constructeur des deux phares, M. Rigolet.

Nous citerons enfin une construction beaucoup moins importante que les précédentes, mais qui est appelée à de plus nombreuses applications.

L'administration des Travaux publics de France a exposé sur la berge de la Seine, une tourelle en tôle conforme à un type qu'elle a adopté pour les feux de port. La tôle est préférable à la pierre dans un édifice de ce genre, parce qu'elle a pour effet de réduire son diamètre, et d'en faciliter la transla-

tion ou le redressement, qui peuvent devenir nécessaires, soit qu'on prolonge la jetée dont il est appelé à signaler l'extrémité, soit que les maçonneries du musoir éprouvent quelque mouvement.

La tourelle a huit mètres de hauteur depuis son pied jusqu'à la plateforme du couronnement, sur 1m71 de diamètre à la base, et 1m49 au sommet. Elle est octogonale et elle est formée de huit montants en fers à T dont les branches, pliées suivant l'angle voulu, se profilent au dehors et forment couvre-joints. Les panneaux en tôle sont boulonnés sur eux.

Une construction de ce genre ne coûte que 9,000 francs environ.

CLASSE 66

ATÉRIEL DE LA NAVIGATION ET DU SAUVETAGE

SOMMAIRE:

ion I. — Cales et bassins de radoub, docks flottants, etc., par M. PASQUIER-VAUVILLERS, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

ion II. — Marine marchande, par M. A. de FRÉMINVILLE, sous-directeur de l'école du génie maritime.

ion III. — Marine militaire, par le même.

ion IV. — Balisage, par M. DUMOUSTIER, chef de division au Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.

tion V. — Sauvetage, par le même.

CHAPITRE II.

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

Deux noms dominent dans l'histoire des appareils rage : celui de Teulère, ingénieur de la généralité c deaux, qui a inventé les réflecteurs paraboliques, e celui d'Augustin Fresnel, qui, aux plus importants scientifiques sur la lumière, a ajouté, en 1822, l'inven phares lenticulaires. Tous nos appareils actuels, si que soient leurs dispositions, se rattachent à l'une ou de ces créations.

Quatre établissements, dont trois en France et un gleterre, sont consacrés à la fabrication des appare ticulaires et des divers ouvrages et mécanismes qui s' chent. Ce sont ceux de MM. Henry Lepaute, Sautter Barbier et Fenestre, à Paris, et de M. Chance, à l gham. Des expériences photométriques, faites sur les paux appareils d'éclairage admis à l'Exposition, établiss les produits de ces diverses usines atteignent presqu perfection, et, si l'un des constructeurs n'a pas une aussi haute récompense que les autres, il faut l'at uniquement au retard qu'a éprouvé son exposition, re à des causes indépendantes de sa volonté.

Outre les remarquables progrès dans l'exécution, d' tantes innovations ont été introduites depuis quelques pour la disposition des appareils lenticulaires.

L'une d'elles est due à M. Chance.

Elle permet de diriger utilement vers l'horizon m une plus grande quantité des rayons lumineux diverg côté des terres qu'on ne l'avait fait jusqu'alors. Deux sy différents étaient employés à cet effet : dans les phare çais, on a eu recours jusqu'à présent à des réflecteurs sph exécutés en cuivre argenté ; dans quelques phares d'Angl

on avait donné la préférence à des anneaux en verre de section triangulaire et posés verticalement, remplissant le même office par une double réflexion totale, précédée et suivie d'une réfraction. Le premier présentait l'avantage de l'économie dans les frais d'établissement, le second, le mérite d'une moindre absorption de rayons lumineux. Mais à tous deux est attaché un grave inconvénient, qui les rend peu efficaces et fait comprendre le motif pour lequel les ingénieurs français ont donné la préférence au moins dispendieux : l'image de la flamme qu'ils renvoient au foyer est renversée, d'où il suit que s'ils étaient exactement centrés, une grande partie des rayons réfléchis seraient projetés sur le bec de la lampe, qui les arrêterait, en même temps qu'il serait échauffé par eux outre mesure. On est obligé donc de disposer les réflecteurs de telle sorte que le point le plus brillant de l'image soit reporté au-dessus du foyer de l'appareil et il en résulte que la plupart des rayons recueillis par eux plongent après leur passage à travers le tambour dioptrique, et sont perdus pour l'éclairage à grande distance, qui est l'objet essentiel. M. Chance a eu l'heureuse idée de placer horizontalement les anneaux à double réflexion totale ; l'image n'est plus renversée, elle se superpose exactement à la flamme, dont elle augmente l'intensité lumineuse dans une forte proportion. Des expériences photométriques ont établi que le réflecteur d'appareil de premier ordre, exposé par lui, restitue utilement environ les $\frac{75}{100}$ des rayons qu'il reçoit. Cette disposition nouvelle paraît de nature à être avantageusement employée en plusieurs circonstances.

Des appareils exposés par la commission des phares d'Écosse et remarquablement exécutés montrent comment, en combinant un réflecteur de ce genre avec des lentilles dioptriques et des prismes verticaux à réflexion totale, on peut distribuer la lumière émanée du foyer en faisceaux disposés suivant les directions et présentant l'amplitude qu'exigent les circonstances locales. L'un d'eux concentre tous les rayons lumineux dans un espace angulaire de 45°.

Nous devons ajouter, pour rendre hommage à la vérité, que M. l'ingénieur Degrand, alors attaché au service des phares de France, avait eu, en 1850, la même pensée que M. Chance, et avait calculé les profils à adopter ; mais aucune occasion ne s'était présentée d'y donner suite, et elle était tombée dans l'oubli. Cette observation ne tend donc nullement à enlever au constructeur anglais le mérite de l'invention.

A mesure que les phares se multiplient, il devient nécessaire de leur assurer un plus grand nombre de caractères distinctifs, afin de prévenir des méprises qui pourraient avoir de funestes conséquences. Un système d'appareils, récemment adopté par la commission des phares de France, produit ce qu'on appelle un feu scintillant, c'est-à-dire un feu dont les éclats se succèdent à de très-courts intervalles et sont séparés par des éclipses totales, ce qui le distingue très-nettement de tous ceux qui sont actuellement allumés sur nos côtes.

Chacun des constructeurs français a exposé un appareil de ce genre, qui est exécuté avec la plus grande précision, et dans les meilleures conditions mécaniques.

On remarque également à l'Exposition un appareil beaucoup moins important, mais présentant des apparences analogues et qui paraît appelé à de nombreuses applications. Il consiste en un simple réflecteur parabolique devant lequel un écran passe rapidement à des intervalles de quatre secondes. Des réflecteurs de ce genre sont fréquemment employés, quand les rayons lumineux émanés du foyer doivent être maintenus dans un espace angulaire très-restreint, comme lorsqu'il s'agit de signaler la direction d'une passe étroite, et quand il n'est pas nécessaire d'ailleurs d'assurer au feu une grande portée, ce qui est le cas le plus habituel. Les courtes éclipses que produit le passage de l'écran ont pour objet d'empêcher que le phare ne soit confondu avec les autres feux allumés dans les mêmes parages. Un appareil de cette espèce a été installé en 1865, sur l'île de Patiras, dans la Gironde, et d'autres sont en construction pour être placés sur divers points de notre litto-

ral. Ce système est moins favorable à l'économie de la lumière que ne le serait un appareil lenticulaire disposé de manière à ne pas donner plus de divergence au faisceau lumineux ; mais il a le mérite d'être beaucoup moins dispendieux. Il y a lieu de donner la préférence à l'une ou à l'autre disposition, suivant la distance à laquelle on se propose de porter la lumière.

L'huile minérale a été substituée depuis quelques années à l'huile de colza dans tous les feux de quatrième ordre des côtes de France, et, la forme de sa flamme étant toute différente de celle qui avait servi de base aux calculs des anciens appareils, on a dû adopter de nouveaux profils, pour tirer le parti le plus utile du combustible préféré. Un appareil placé au sommet d'une tourelle en tôle, établie sur la rive gauche de la Seine, offre un exemple intéressant des dispositions auxquelles se sont arrêtés les ingénieurs français. Il se compose de six lentilles annulaires, en partie dioptriques, en partie catadioptriques, qui produisent de vifs éclats colorés en rouge, se succédant de vingt en vingt secondes.

L'application toute récente de la lumière électrique à l'éclairage des phares a exigé plus de modifications encore dans la disposition des appareils lenticulaires. Il fallait s'assurer une divergence convenable, sans dépasser d'ailleurs une certaine limite, et l'on devait proscrire les montants verticaux, qui, dans les phares alimentés à l'huile, ne déterminent qu'une réduction peu importante de l'intensité lumineuse dans un espace angulaire très-restreint, mais qui auraient pour effet de produire une occultation complète, alors que le foyer lumineux est réduit à moins d'un centimètre de diamètre. Il était essentiel, en outre, de ne pas obliger les gardiens à regarder constamment une flamme d'une intensité redoutable, pour s'assurer si elle se maintenait bien exactement au foyer de l'appareil et même de leur faire reconnaître le moindre déplacement avec plus de précision que ne le permet l'observation directe.

Il a été satisfait à ces diverses conditions dans les deux phares

du cap de la Hève, qui, après des expériences poursuivies pendant plusieurs années, tant à Paris que sur place, ont été éclairés à la lumière électrique à partir du 2 novembre 1865.

Les appareils n'ont que 30 centimètres de diamètre ; ils ont reçu les profils qu'exigeaient la forme et les dimensions du foyer lumineux. La lanterne dont les dimensions sont très-restreintes n'a point de montants dans toute l'étendue de l'horizon maritime, et l'appareil n'en a que de très-faibles, lesquels sont inclinés de manière à ne produire qu'une réduction d'intensité tout à fait insignifiante ; enfin une petite lentille, placée dans l'angle mort de l'appareil, renvoie contre la paroi opposée de la chambre une image très-amplifiée de la lumière, qui permet au gardien de juger sans fatigue s'il s'est produit, malgré le régulateur, une déviation appréciable dans la hauteur du foyer lumineux.

Chaque appareil est muni de deux régulateurs qui glissent sur de petits chemins de fer, et saisissent le courant dès que, parvenus à la fin de leur course, ils ont, par cela même, placé le point lumineux au foyer de l'appareil. Il suffit de quelques secondes pour substituer un de ces mécanismes à l'autre. Deux appareils lenticulaires sont superposés dans chaque lanterne, afin que le service ne soit pas exposé à être interrompu si l'un d'eux éprouvait un accident, et des commutateurs, placés à portée du gardien, permettent de faire passer instantanément la lumière de l'un à l'autre.

Deux machines magnéto-électriques sont affectées à chacun des phares, également par mesure de précaution ; mais on les met toutes deux en mouvement, lorsque, l'atmosphère étant peu transparente, il y a intérêt à augmenter l'intensité lumineuse.

Des dessins très-complets rendent compte de toutes les dispositions qui ont été adoptées pour cette première application de la lumière électrique sur les côtes de France.

L'intensité lumineuse des phares de premier ordre de la Hève était évaluée à 630 becs de lampe carcel, lorsqu'ils étaient ali-

mentés à l'huile ; elle s'élève aujourd'hui à 5,000 becs, quand une seule machine magnéto-électrique est en fonction, et elle est plus que doublée, quand les deux machines y concourent.

Ces phares sont à feu fixe, et celui qui est allumé en Angleterre, sur la pointe de Dungeness, présente le même caractère ; mais il était évident que la lumière électrique pouvait s'appliquer avec avantage aux phares à éclipses, moyennant certaines modifications dans la disposition des appareils. La question a été étudiée par les ingénieurs français, et trois systèmes présentant des caractères différents sont exposés par le ministère des Travaux publics dans un pavillon spécial.

Le premier se compose d'un appareil à feu fixe, de 30 centimètres de diamètre, qu'enveloppe sur toute sa hauteur un tambour formé de dix-huit lentilles cylindriques verticales, embrassant chacune une angle de 20°, et excentrées de manière à produire une divergence horizontale de 6°,40. Les éclats se succèdent de deux en deux secondes, et leur durée est moitié de celle des éclipses.

Le second appareil présente un feu fixe varié par des éclats qui se succèdent de minute en minute, et sont accompagnés d'éclipses de très-courte durée. Les éclats sont produits par des lentilles à éléments verticaux, sous-tendant chacune un angle de 60°.

Le troisième est destiné au phare de premier ordre à éclipses de trente en trente secondes du cap Grisnez. Ses lentilles à éléments verticaux, au nombre de huit, embrassant chacune un angle de 45°, sont excentrées de manière à donner une divergence horizontale de 18°, et laissent à découvert les trois anneaux catadioptriques inférieurs, de telle sorte que les éclipses ne soient pas totales. La durée des éclats est de douze secondes, tandis que celle des éclipses est de dix-huit secondes.

Si précieuse que soit la lumière électrique pour l'éclairage du littoral, deux motifs principaux s'opposent à sa propagation. En premier lieu, la plupart des grandes puissances maritimes ont déjà établi des phares de premier ordre sur tous les points

qu'il est le plus essentiel de signaler aux avigateurs, et difficile de se résoudre à l'abandon d'appareils d'un pri élevé, dont l'intensité était jugée bien suffisante jusque ces derniers temps, et auxquels d'ailleurs la découverte nouveau mode de production de la lumière pourrait r tous leurs mérites ; en second lieu, la multiplicité et la plication relative des mécanismes font craindre que le no système ne présente pas assez de sécurité pour qu'on p sans quelque imprudence, l'appliquer sur des points isol la surveillance des ingénieurs ne saurait être très-active disposition adoptée par la commission des phares de Fr pour le phare du cap Grisnez, paraît offrir une heu solution du problème.

Ainsi que le montrent les dessins exposés, elle cons conserver l'appareil existant, et à installer l'appareil élec sur la plate-forme extérieure, dans la hauteur du soubass de l'ancienne lanterne. Un simple renvoi de mouvement met à la machine de rotation de faire tourner à volonté ou l'autre appareil. Un des organes qui concourent à clairage électrique vient-il à se déranger, une lampe à est allumée immédiatement dans l'ancien appareil, et, phare perd de son intensité, ce n'est pas au point de promettre la sécurité des navigateurs.

Le tableau qui suit fait connaître les intensités des appareils d'éclairage dont on vient de parler (*Voir* p. 34

NATURE de L'APPAREIL.	MODE de production de la lumière.	INTENSITÉ des éclats en becs de carcel.	CARACTÈRE DU FEU.
Appareil lenticulaire de 1er ordre, de 1m84 de diamètre, composé de 24 panneaux.	Huile de colza.	2 475	Feu scintillant à éclipses de 4 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire de 4e ordre, de 0m375 de diamètre, composé de 6 panneaux.	Huile de schiste.	200	Feu à éclipses de 20 en 20 secondes.
Réflecteur parabolique, de 0m50 d'ouverture, avec écran.	Huile de colza.	200	Feu scintillant à très-courtes éclipses de 4 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire formé d'un appareil de 0m30, entouré d'un tambour de 18 lentilles.	Électricité.	20 000	Feu scintillant à éclipses de 2 en 2 secondes.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, à feu fixe, avec 3 lentilles mobiles.	Électricité.	Feu fixe. 5 000 Éclats.. 73 500	Feu fixe, varié par des éclats de minute en minute.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, composé de 8 panneaux de lentilles annulaires.	Électricité.	15 000	Feu à éclipses de 30 en 30 secondes.

Les chiffres afférents à la lumière électrique sont ceux que donne une seule machine magnéto-électrique ; ils s'élèvent à plus du double, lorsqu'on met en mouvement les deux machines, que comporte chaque phare éclairé de la sorte.

CHAPITRE III.

MODES DE PRODUCTION DE LA LUMIÈRE.

Après avoir été alimentés au bois, à la houille, quelquesuns même avec des chandelles de suif, la plupart des phares

le sont aujourd'hui au moyen de l'huile et principalem
l'huile de colza, qui, de toutes les huiles grasses, a été i
nue la plus convenable pour ce service. Mais, depuis qu
années, deux autres modes de production de la lumi
sont fait jour et présentent des avantages marqués sur le
cédents : la combustion des huiles minérales et les co
électriques.

Les huiles minérales sont des hydrocarbures dont l'
est diverse ; les unes, connues sous le nom de pétrole
ment des dépôts sur divers points du globe, surtout
l'Amérique du Nord ; les autres s'extrayent par la disti
de certains schistes, et ont reçu le nom d'huile de s
Quand leur combustion est convenablement réglée, ces
produisent une flamme beaucoup plus éclatante, par u
surface, que celles des meilleures huiles ordinaires, e
sont en outre notablement moins dispendieuses que les
Aussi se sont-elles rapidement propagées, malgré les
vénients qu'elles présentent. Malheureusement, à raiso
quantité d'oxygène qu'elles exigent pour bien brûler, o
pas parvenu à produire avec elles des flammes compar
celles que donnent les lampes à mèches multiples, e
application à l'éclairage des côtes a dû se borner aux ap
lenticulaires de quatrième ordre, qui ne comportent q
lampes à une seule mèche. Avec un appareil établi en
ce nouveau combustible on obtient un éclat double d
qu'on aurait eu avec de l'huile de colza, et la dépense e
est réduite de moitié environ.

C'est au contraire aux phares qui réclament beaucou
tensité, et à eux seuls, dans l'état actuel de la scienc
convient la lumière engendrée par les courants électriq
ce sont les machines magnéto-électriques qui ont per
l'appliquer à l'éclairage maritime.

Ces machines sont traitées avec le développement q
exigent dans un autre rapport, de même que leurs a
obligées, les régulateurs de la marche des charbons, e

n'avons à parler que de leur produit au double point de vue de l'éclat et du prix de revient de la lumière. Peut-être cependant n'est-il pas hors de propos de rappeler ici les noms des hommes, quelques-uns célèbres, d'autres obscurs, dont les découvertes ont concouru le plus efficacement à faire entrer les courants électriques dans la pratique de l'éclairage. Peu de mots d'ailleurs y suffiront.

Vient en première ligne Œrstedt, qui signale l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; puis interviennent successivement Ampère, qui fait des aimants avec des courants; Faraday, qui montre que réciproquement des aimants engendrent des courants; Pixii, qui met en évidence ce dernier ordre de phénomènes, au moyen d'un instrument que Clarke améliore bientôt, et qui, amplifié par divers constructeurs, devient la machine magnéto-électrique actuelle; enfin un simple ouvrier, aujourd'hui contre-maître de la compagnie *l'Alliance*, M. Joseph Van Malderen, qui a l'heureuse idée de supprimer le commutateur employé au redressement des courants et augmente par là, dans une forte proportion, l'intensité de la lumière.

Une machine magnéto-électrique de la compagnie *l'Alliance*, composée de six disques de seize bobines chacun, donne une lumière dont l'éclat peut être évalué à 200 becs de carcel; placée au foyer d'un appareil catadioptrique à feu fixe de 0m30 de diamètre, cette lumière envoie sur toute la circonférence un faisceau lumineux dont l'intensité est égale à 3,000 becs environ. Nos phares de premier ordre à feu fixe, alimentés à l'huile, ne donnent pas plus de 630 becs.

Les dépenses annuelles d'un phare électrique sont un peu plus considérables que celles d'un phare de premier ordre, éclairé à l'huile, parce que le personnel est plus nombreux; mais celles de premier établissement sont moindres, et le prix de l'unité de lumière est de beaucoup inférieur. Ainsi, pour les deux phares de la Hève, qui sont éclairés à la lumière électrique depuis 1865, les différentes dépenses ont été évaluées ainsi qu'il suit dans l'un et l'autre mode d'éclairage :

OBJET DE LA DÉPENSE.	MONTANT DE LA DÉPENSE.	
	ÉCLAIRAGE A L'HUILE.	ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
Frais de premier établissement des appareils	94 000 fr. 00	72 800 fr. 00
Dépenses annuelles	15 157 fr. 40	17 000 fr 00
Unité de lumière envoyée à l'horizon	0 fr. 00308	0 fr. 00040

La lumière électrique ne coûte donc pas, lorsqu'elle e produite dans les conditions qui viennent d'être exposées, septième partie de ce que coûte la lumière résultant de combustion de l'huile de colza.

Les machines magnéto-électriques employées pour l phares de France sont fournies par la compagnie *l'Allianc* et les régulateurs de la marche des charbons sont dus à l Serrin, qui a parfaitement su approprier ces mécanismes au exigences du service.

CHAPITRE IV.

CONSTRUCTION DES ÉDIFICES.

A mesure que les phares se sont multipliés, de notabl améliorations ont été introduites, tant dans leur distributic que dans leur système de construction, et les modèles et de sins d'édifices de ce genre exécutés en maçonnerie, qu'exp sent diverses puissances maritimes, prouvent que l'art de l'i génieur n'est pas plus stationnaire dans cette direction qu dans les autres voies ouvertes à son activité.

On remarque dans cette catégorie, les phares français c la Banche, des Triagoz, de l'île d'Ouessant, de la roche Croix et des dunes de Contis, le phare espagnol du cap c

Palos, le phare anglais du Hanois et le phare du cap Spartel (Maroc).

Ce dernier ne se recommande pas seulement par les services qu'il rend à une navigation des plus importantes ; l'édifice, qu'il fallait mettre à l'abri d'un coup de main de la part des indigènes, a reçu un grand développement, et sa construction a présenté les plus sérieuses difficultés, parce que l'endroit est complétement désert et que le pays, dépourvu de ressources en ouvriers ainsi qu'en matériaux, se montre peu favorable aux innovations. Il a fallu toute l'énergie et tout le dévouement de l'ingénieur, M. Jacquet, conducteur attaché à la direction des phares de France, pour surmonter les obstacles qui venaient incessamment entraver ses opérations.

Ce sont les phares métalliques qui témoignent surtout des progrès réalisés dans ces dernières années. Il en est trois dont les dispositions sont nouvelles, qui peuvent être présentés comme des types, et qu'il paraît convenable de signaler plus spécialement à l'attention du lecteur.

L'un d'eux, exposé par l'administration des Travaux publics d'Espagne, est représenté par un modèle remarquablement traité ; c'est le phare de deuxième ordre de l'île de Buda, à l'embouchure de l'Ebre. Il a été exécuté en Angleterre sur le projet de M. l'inspecteur général des ponts et chaussées d'Espagne Lucio del Valle, et il a été allumé, pour la première fois, en 1864.

Le sol sur lequel il repose est couvert d'environ un mètre d'eau, et consiste en un sable vaseux sans consistance sur une grande profondeur. Huit pieux à vis occupent les sommets d'un octogone de 17 mètres de diamètre, pénétrent de 9 mètres dans le terrain, et sont solidement reliés à leur sommet entre eux et avec un pieu central. Ils supportent les montants inclinés, que maintiennent et consolident de nombreuses pièces accessoires, au-dessus desquels s'élèvent la lanterne et la plateforme du phare. Les logements et magasins sont distribués dans deux étages revêtus extérieurement en tôle ondulée, dont

le supérieur est établi en retraite, et dont le premier plan domine de 7 mètres environ une large risberme en maçonnerie destinée à mettre la construction à l'abri des affouillements. Un escalier en fonte, renfermé dans une tour centrale de 2 mètres de diamètre, conduit jusqu'au sommet de l'édifice. La galerie supérieure est élevée à 45m75 au-dessus des têtes des pieux, et le foyer de l'appareil domine de 53 mètres le niveau de la mer. Le poids de la construction métallique ne dépasse pas 183,000 kilogrammes.

Il y a de la hardiesse et même de l'élégance dans cette construction, qui résout de la manière la plus économique, le difficile problème que les ingénieurs espagnols avaient à traiter.

Un autre phare métallique a été conçu dans un tout autre esprit, par les ingénieurs français, c'est celui que l'administration des Travaux publics a exposé en dehors du palais, sur le bord du lac. Il doit être installé sur le plateau des Roches Douvres, écueil très-redouté, situé à peu près à mi-distance entre l'île de Bréhat et celle de Guernesey, à 27 milles marins environ au large du port de Portrieux.

On l'a disposé de telle sorte que les pièces constituant l'ossature de l'édifice sont placées à l'intérieur au lieu de se montrer au dehors ; elles sont mises ainsi à l'abri des embruns de la mer, cause énergique d'oxydation, et elles sont en outre d'une visite et d'un entretien faciles. On a réduit au minimum la surface exposée à l'air extérieur.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés et rivés de manière à être parfaitement solidaires, et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres, et sont maintenus dans leurs positions par des entretoises horizontales. Les feuilles de tôle du revêtement sont boulonnées sur les montants et les entretoises. La construction reposera sur un

massif de maçonnerie auquel chacun des seize montants sera fixé par six forts boulons de scellement.

Un escalier en fonte occupe le centre de la tour. Au pied sont distribués les logements et magasins, que des cloisons en briques divisent et mettent à l'abri des variations de la température extérieure.

L'édifice a 48m30 de hauteur depuis sa base jusqu'au niveau de la galerie qui entoure la lanterne, et son foyer dominera de 53 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les poids et les dépenses, y compris le montage et le démontage dans l'enceinte de l'Exposition, ont été évalués ainsi qu'il suit :

16,880 kilog. de fonte ordinaire, à 0 fr. 40.....	6,752 fr.	00
47,090 kilog. de fonte ajustée, à 0 fr. 55.....	25,899	50
219,380 kilog. de fers et tôle, à 0 fr. 70.....	153,566	00
20,450 kilog. de fers ajustés, à 1 fr. 40.....	28,630	00
1,065 kilog. 50 de bronze, à 6 fr. 20.....	6,606	10
5,100 mètres superficiels de peinture au minium à deux couches, à 0 fr. 75 le mètre.....	3,825	00
Menuiserie, ferrures des portes et fenêtres et objets divers à régler à prix débattus.....	2,000	00
Somme à valoir pour dépenses imprévues.....	22,721	40
TOTAL.....	250,000 fr.	00

Un phare du même genre, exécuté également à Paris, et installé en 1865 sur l'un des îlots de la Nouvelle-Calédonie, est représenté à l'Exposition par un modèle qu'a établi, avec une rare perfection, le constructeur des deux phares, M. Rigolet.

Nous citerons enfin une construction beaucoup moins importante que les précédentes, mais qui est appelée à de plus nombreuses applications.

L'administration des Travaux publics de France a exposé sur la berge de la Seine, une tourelle en tôle conforme à un type qu'elle a adopté pour les feux de port. La tôle est préférable à la pierre dans un édifice de ce genre, parce qu'elle a pour effet de réduire son diamètre, et d'en faciliter la transla-

du cap de la Hève, qui, après des expériences poursuivies pendant plusieurs années, tant à Paris que sur place, ont été éclairés à la lumière électrique à partir du 2 novembre 1865.

Les appareils n'ont que 30 centimètres de diamètre ; ils ont reçu les profils qu'exigeaient la forme et les dimensions du foyer lumineux. La lanterne dont les dimensions sont très-restreintes n'a point de montants dans toute l'étendue de l'horizon maritime, et l'appareil n'en a que de très-faibles, lesquels sont inclinés de manière à ne produire qu'une réduction d'intensité tout à fait insignifiante ; enfin une petite lentille, placée dans l'angle mort de l'appareil, renvoie contre la paroi opposée de la chambre une image très-amplifiée de la lumière, qui permet au gardien de juger sans fatigue s'il s'est produit, malgré le régulateur, une déviation appréciable dans la hauteur du foyer lumineux.

Chaque appareil est muni de deux régulateurs qui glissent sur de petits chemins de fer, et saisissent le courant dès que, parvenus à la fin de leur course, ils ont, par cela même, placé le point lumineux au foyer de l'appareil. Il suffit de quelques secondes pour substituer un de ces mécanismes à l'autre. Deux appareils lenticulaires sont superposés dans chaque lanterne, afin que le service ne soit pas exposé à être interrompu si l'un d'eux éprouvait un accident, et des commutateurs, placés à portée du gardien, permettent de faire passer instantanément la lumière de l'un à l'autre.

Deux machines magnéto-électriques sont affectées à chacun des phares, également par mesure de précaution ; mais on les met toutes deux en mouvement, lorsque, l'atmosphère étant peu transparente, il y a intérêt à augmenter l'intensité lumineuse.

Des dessins très-complets rendent compte de toutes les dispositions qui ont été adoptées pour cette première application de la lumière électrique sur les côtes de France.

L'intensité lumineuse des phares de premier ordre de la Hève était évaluée à 630 becs de lampe carcel, lorsqu'ils étaient ali-

mentés à l'huile ; elle s'élève aujourd'hui à 5,000 becs, quand une seule machine magnéto-électrique est en fonction, et elle est plus que doublée, quand les deux machines y concourent.

Ces phares sont à feu fixe, et celui qui est allumé en Angleterre, sur la pointe de Dungeness, présente le même caractère ; mais il était évident que la lumière électrique pouvait s'appliquer avec avantage aux phares à éclipses, moyennant certaines modifications dans la disposition des appareils. La question a été étudiée par les ingénieurs français, et trois systèmes présentant des caractères différents sont exposés par le ministère des Travaux publics dans un pavillon spécial.

Le premier se compose d'un appareil à feu fixe, de 30 centimètres de diamètre, qu'enveloppe sur toute sa hauteur un tambour formé de dix-huit lentilles cylindriques verticales, embrassant chacune une angle de 20°, et excentrées de manière à produire une divergence horizontale de 6°,40. Les éclats se succèdent de deux en deux secondes, et leur durée est moitié de celle des éclipses.

Le second appareil présente un feu fixe varié par des éclats qui se succèdent de minute en minute, et sont accompagnés d'éclipses de très-courte durée. Les éclats sont produits par des lentilles à éléments verticaux, sous-tendant chacune un angle de 60°.

Le troisième est destiné au phare de premier ordre à éclipses de trente en trente secondes du cap Grisnez. Ses lentilles à éléments verticaux, au nombre de huit, embrassant chacune un angle de 45°, sont excentrées de manière à donner une divergence horizontale de 18°, et laissent à découvert les trois anneaux catadioptriques inférieurs, de telle sorte que les éclipses ne soient pas totales. La durée des éclats est de douze secondes, tandis que celle des éclipses est de dix-huit secondes.

Si précieuse que soit la lumière électrique pour l'éclairage du littoral, deux motifs principaux s'opposent à sa propagation. En premier lieu, la plupart des grandes puissances maritimes ont déjà établi des phares de premier ordre sur tous les points

qu'il est le plus essentiel de signaler aux navigateurs, et il es difficile de se résoudre à l'abandon d'appareils d'un prix for élevé, dont l'intensité était jugée bien suffisante jusque dan ces derniers temps, et auxquels d'ailleurs la découverte d'u nouveau mode de production de la lumière pourrait rendr tous leurs mérites ; en second lieu, la multiplicité et la complication relative des mécanismes font craindre que le nouvea système ne présente pas assez de sécurité pour qu'on puisse sans quelque imprudence, l'appliquer sur des points isolés o la surveillance des ingénieurs ne saurait être très-active. Un disposition adoptée par la commission des phares de France pour le phare du cap Grisnez, paraît offrir une heureus solution du problème.

Ainsi que le montrent les dessins exposés, elle consiste conserver l'appareil existant, et à installer l'appareil électriqu sur la plate-forme extérieure, dans la hauteur du soubassemen de l'ancienne lanterne. Un simple renvoi de mouvement permet à la machine de rotation de faire tourner à volonté l'u ou l'autre appareil. Un des organes qui concourent à l'éclairage électrique vient-il à se déranger, une lampe à huil est allumée immédiatement dans l'ancien appareil, et, si l phare perd de son intensité, ce n'est pas au point de compromettre la sécurité des navigateurs.

Le tableau qui suit fait connaître les intensités des diver appareils d'éclairage dont on vient de parler (*Voir* p. 347).

NATURE de L'APPAREIL.	MODE de production de la lumière.	INTENSITÉ des éclats en becs de carcel.	CARACTÈRE DU FEU.
Appareil lenticulaire de 1er ordre, de 1m84 de diamètre, composé de 24 panneaux.	Huile de colza.	2 475	Feu scintillant à éclipses de 4 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire de 4e ordre, de 0m375 de diamètre, composé de 6 panneaux.	Huile de schiste.	200	Feu à éclipses de 20 en 20 secondes.
Réflecteur parabolique, de 0m50 d'ouverture, avec écran.	Huile de colza.	200	Feu scintillant à très-courtes éclipses de 4 en 4 secondes.
Appareil lenticulaire formé d'un appareil de 0m30, entouré d'un tambour de 12 lentilles.	Électricité.	20 000	Feu scintillant à éclipses de 2 en 2 secondes.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, à feu fixe, avec 3 lentilles mobiles.	Électricité.	Feu fixe. 5 000 Éclats.. 73 500	Feu fixe, varié par des éclats de minute en minute.
Appareil lenticulaire de 0m30 de diamètre, composé de 8 panneaux de lentilles annulaires.	Électricité.	15 000	Feu à éclipses de 30 en 30 secondes.

Les chiffres afférents à la lumière électrique sont ceux que donne une seule machine magnéto-électrique ; ils s'élèvent à plus du double, lorsqu'on met en mouvement les deux machines, que comporte chaque phare éclairé de la sorte.

CHAPITRE III.

MODES DE PRODUCTION DE LA LUMIÈRE.

Après avoir été alimentés au bois, à la houille, quelques-uns même avec des chandelles de suif, la plupart des phares

le sont aujourd'hui au moyen de l'huile et principalement l'huile de colza, qui, de toutes les huiles grasses, a été reco nue la plus convenable pour ce service. Mais, depuis quelqu années, deux autres modes de production de la lumière sont fait jour et présentent des avantages marqués sur les p cédents : la combustion des huiles minérales et les coura électriques.

Les huiles minérales sont des hydrocarbures dont l'orig est diverse ; les unes, connues sous le nom de pétrole, fo ment des dépôts sur divers points du globe, surtout da l'Amérique du Nord ; les autres s'extrayent par la distillat de certains schistes, et ont reçu le nom d'huile de schis Quand leur combustion est convenablement réglée, ces hui produisent une flamme beaucoup plus éclatante, par unité surface, que celles des meilleures huiles ordinaires, et el sont en outre notablement moins dispendieuses que les autr Aussi se sont-elles rapidement propagées, malgré les inc vénients qu'elles présentent. Malheureusement, à raison de quantité d'oxygène qu'elles exigent pour bien brûler, on n' pas parvenu à produire avec elles des flammes comparable celles que donnent les lampes à mèches multiples, et l application à l'éclairage des côtes a dû se borner aux appar lenticulaires de quatrième ordre, qui ne comportent que lampes à une seule mèche. Avec un appareil établi en vue ce nouveau combustible on obtient un éclat double de ce qu'on aurait eu avec de l'huile de colza, et la dépense en hu est réduite de moitié environ.

C'est au contraire aux phares qui réclament beaucoup d' tensité, et à eux seuls, dans l'état actuel de la science, convient la lumière engendrée par les courants électriques ce sont les machines magnéto-électriques qui ont permis l'appliquer à l'éclairage maritime.

Ces machines sont traitées avec le développement qu'e exigent dans un autre rapport, de même que leurs anne obligées, les régulateurs de la marche des charbons, et n

n'avons à parler que de leur produit au double point de vue de l'éclat et du prix de revient de la lumière. Peut-être cependant n'est-il pas hors de propos de rappeler ici les noms des hommes, quelques-uns célèbres, d'autres obscurs, dont les découvertes ont concouru le plus efficacement à faire entrer les courants électriques dans la pratique de l'éclairage. Peu de mots d'ailleurs y suffiront.

Vient en première ligne Œrstedt, qui signale l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; puis interviennent successivement Ampère, qui fait des aimants avec des courants; Faraday, qui montre que réciproquement des aimants engendrent des courants; Pixii, qui met en évidence ce dernier ordre de phénomènes, au moyen d'un instrument que Clarke améliore bientôt, et qui, amplifié par divers constructeurs, devient la machine magnéto-électrique actuelle; enfin un simple ouvrier, aujourd'hui contre-maître de la compagnie *l'Alliance*, M. Joseph Van Malderen, qui a l'heureuse idée de supprimer le commutateur employé au redressement des courants et augmente par là, dans une forte proportion, l'intensité de la lumière.

Une machine magnéto-électrique de la compagnie *l'Alliance*, composée de six disques de seize bobines chacun, donne une lumière dont l'éclat peut être évalué à 200 becs de carcel; placée au foyer d'un appareil catadioptrique à feu fixe de 0m30 de diamètre, cette lumière envoie sur toute la circonférence un faisceau lumineux dont l'intensité est égale à 5,000 becs environ. Nos phares de premier ordre à feu fixe, alimentés à l'huile, ne donnent pas plus de 630 becs.

Les dépenses annuelles d'un phare électrique sont un peu plus considérables que celles d'un phare de premier ordre, éclairé à l'huile, parce que le personnel est plus nombreux; mais celles de premier établissement sont moindres, et le prix de l'unité de lumière est de beaucoup inférieur. Ainsi, pour les deux phares de la Hève, qui sont éclairés à la lumière électrique depuis 1865, les différentes dépenses ont été évaluées ainsi qu'il suit dans l'un et l'autre mode d'éclairage :

OBJET DE LA DÉPENSE.	MONTANT DE LA DÉPENSE.	
	ÉCLAIRAGE A L'HUILE.	ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.
Frais de premier établissement des appareils	94 000 fr. 00	72 800 fr. 00
Dépenses annuelles	15 157 fr. 40	17 000 fr. 00
Unité de lumière envoyée à l'horizon	0 fr. 00308	0 fr. 00046

La lumière électrique ne coûte donc pas, lorsqu'elle est produite dans les conditions qui viennent d'être exposées, la septième partie de ce que coûte la lumière résultant de la combustion de l'huile de colza.

Les machines magnéto-électriques employées pour les phares de France sont fournies par la compagnie *l'Alliance*, et les régulateurs de la marche des charbons sont dus à M. Serrin, qui a parfaitement su approprier ces mécanismes aux exigences du service.

CHAPITRE IV.

CONSTRUCTION DES ÉDIFICES.

A mesure que les phares se sont multipliés, de notables améliorations ont été introduites, tant dans leur distribution que dans leur système de construction, et les modèles et dessins d'édifices de ce genre exécutés en maçonnerie, qu'exposent diverses puissances maritimes, prouvent que l'art de l'ingénieur n'est pas plus stationnaire dans cette direction que dans les autres voies ouvertes à son activité.

On remarque dans cette catégorie, les phares français de la Banche, des Triagoz, de l'île d'Ouessant, de la roche la Croix et des dunes de Contis, le phare espagnol du cap de

Palos, le phare anglais du Hanois et le phare du cap Spartel (Maroc).

Ce dernier ne se recommande pas seulement par les services qu'il rend à une navigation des plus importantes ; l'édifice, qu'il fallait mettre à l'abri d'un coup de main de la part des indigènes, a reçu un grand développement, et sa construction a présenté les plus sérieuses difficultés, parce que l'endroit est complétement désert et que le pays, dépourvu de ressources en ouvriers ainsi qu'en matériaux, se montre peu favorable aux innovations. Il a fallu toute l'énergie et tout le dévouement de l'ingénieur, M. Jacquet, conducteur attaché à la direction des phares de France, pour surmonter les obstacles qui venaient incessamment entraver ses opérations.

Ce sont les phares métalliques qui témoignent surtout des progrès réalisés dans ces dernières années. Il en est trois dont les dispositions sont nouvelles, qui peuvent être présentés comme des types, et qu'il paraît convenable de signaler plus spécialement à l'attention du lecteur.

L'un d'eux, exposé par l'administration des Travaux publics d'Espagne, est représenté par un modèle remarquablement traité ; c'est le phare de deuxième ordre de l'île de Buda, à l'embouchure de l'Ebre. Il a été exécuté en Angleterre sur le projet de M. l'inspecteur général des ponts et chaussées d'Espagne Lucio del Valle, et il a été allumé, pour la première fois, en 1864.

Le sol sur lequel il repose est couvert d'environ un mètre d'eau, et consiste en un sable vaseux sans consistance sur une grande profondeur. Huit pieux à vis occupent les sommets d'un octogone de 17 mètres de diamètre, pénétrent de 9 mètres dans le terrain, et sont solidement reliés à leur sommet entre eux et avec un pieu central. Ils supportent les montants inclinés, que maintiennent et consolident de nombreuses pièces accessoires, au-dessus desquels s'élèvent la lanterne et la plateforme du phare. Les logements et magasins sont distribués dans deux étages revêtus extérieurement en tôle ondulée, dont

le supérieur est établi en retraite, et dont le premier plancher domine de 7 mètres environ une large risberme en maçonnerie destinée à mettre la construction à l'abri des affouillements. Un escalier en fonte, renfermé dans une tour centrale de 2 mètres de diamètre, conduit jusqu'au sommet de l'édifice. La galerie supérieure est élevée à 45m75 au-dessus des têtes des pieux, et le foyer de l'appareil domine de 53 mètres le niveau de la mer. Le poids de la construction métallique ne dépasse pas 183,000 kilogrammes.

Il y a de la hardiesse et même de l'élégance dans cette construction, qui résout de la manière la plus économique, le difficile problème que les ingénieurs espagnols avaient à traiter.

Un autre phare métallique a été conçu dans un tout autre esprit, par les ingénieurs français, c'est celui que l'administration des Travaux publics a exposé en dehors du palais, sur le bord du lac. Il doit être installé sur le plateau des Roches-Douvres, écueil très-redouté, situé à peu près à mi-distance entre l'île de Bréhat et celle de Guernesey, à 27 milles marins environ au large du port de Portrieux.

On l'a disposé de telle sorte que les pièces constituant l'ossature de l'édifice sont placées à l'intérieur au lieu de se montrer au dehors ; elles sont mises ainsi à l'abri des embruns de mer, cause énergique d'oxydation, et elles sont en outre d'une visite et d'un entretien faciles. On a réduit au minimum la surface exposée à l'air extérieur.

Seize grands montants, composés chacun de quinze panneaux sur la hauteur, constituent l'ossature. Chaque panneau est formé de fers à simple T, assemblés et rivés de manière à être parfaitement solidaires, et à ne pas se prêter à la déformation sous les plus fortes actions qu'on puisse prévoir. Ces panneaux se boulonnent les uns sur les autres, et sont maintenus dans leurs positions par des entretoises horizontales. Les feuilles de tôle du revêtement sont boulonnées sur les montants et les entretoises. La construction reposera sur un

massif de maçonnerie auquel chacun des seize montants sera fixé par six forts boulons de scellement.

Un escalier en fonte occupe le centre de la tour. Au pied sont distribués les logements et magasins, que des cloisons en briques divisent et mettent à l'abri des variations de la température extérieure.

L'édifice a 48m30 de hauteur depuis sa base jusqu'au niveau de la galerie qui entoure la lanterne, et son foyer dominera de 53 mètres le niveau des plus hautes mers.

Les poids et les dépenses, y compris le montage et le démontage dans l'enceinte de l'Exposition, ont été évalués ainsi qu'il suit :

16,880 kilog. de fonte ordinaire, à 0 fr. 40.....	6,752 fr.	00
47,090 kilog. de fonte ajustée, à 0 fr. 55.....	25,899	50
219,380 kilog. de fers et tôle, à 0 fr. 70.....	153,566	00
20,450 kilog. de fers ajustés, à 1 fr. 40.....	28,630	00
1,065 kilog. 50 de bronze, à 6 fr. 20.....	6,606	10
5,100 mètres superficiels de peinture au minium à deux couches, à 0 fr. 75 le mètre.....	3,825	00
Menuiserie, ferrures des portes et fenêtres et objets divers à régler à prix débattus.....	2,000	00
Somme à valoir pour dépenses imprévues.....	22,721	40
TOTAL.....	250,000 fr.	00

Un phare du même genre, exécuté également à Paris, et installé en 1865 sur l'un des îlots de la Nouvelle-Calédonie, est représenté à l'Exposition par un modèle qu'a établi, avec une rare perfection, le constructeur des deux phares, M. Rigolet.

Nous citerons enfin une construction beaucoup moins importante que les précédentes, mais qui est appelée à de plus nombreuses applications.

L'administration des Travaux publics de France a exposé sur la berge de la Seine, une tourelle en tôle conforme à un type qu'elle a adopté pour les feux de port. La tôle est préférable à la pierre dans un édifice de ce genre, parce qu'elle a pour effet de réduire son diamètre, et d'en faciliter la transla-

tion ou le redressement, qui peuvent devenir nécessaires, soit qu'on prolonge la jetée dont il est appelé à signaler l'extrémité, soit que les maçonneries du musoir éprouvent quelque mouvement.

La tourelle a huit mètres de hauteur depuis son pied jusqu'à la plateforme du couronnement, sur $1^{m}71$ de diamètre à la base, et $1^{m}49$ au sommet. Elle est octogonale et elle est formée de huit montants en fers à T dont les branches, pliées suivant l'angle voulu, se profilent au dehors et forment couvre-joints. Les panneaux en tôle sont boulonnés sur eux.

Une construction de ce genre ne coûte que 9,000 francs environ.

CLASSE 66

MATÉRIEL DE LA NAVIGATION ET DU SAUVETAGE

SOMMAIRE:

Section I. — Cales et bassins de radoub, docks flottants, etc., par M. Pasquier-Vauvillers, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Section II. — Marine marchande, par M. A. de Fréminville, sous-directeur de l'école du génie maritime.

Section III. — Marine militaire, par le même.

Section IV. — Balisage, par M. Demoustier, chef de division au Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.

Section V. — Sauvetage, par le même.

qu'il est le plus essentiel de signaler aux navigateurs, et il est difficile de se résoudre à l'abandon d'appareils d'un prix fort élevé, dont l'intensité était jugée bien suffisante jusque dans ces derniers temps, et auxquels d'ailleurs la découverte d'un nouveau mode de production de la lumière pourrait rendre tous leurs mérites ; en second lieu, la multiplicité et la complication relative des mécanismes font craindre que le nouveau système ne présente pas assez de sécurité pour qu'on puisse, sans quelque imprudence, l'appliquer sur des points isolés où la surveillance des ingénieurs ne saurait être très-active. Une disposition adoptée par la commission des phares de France, pour le phare du cap Grisnez, paraît offrir une heureuse solution du problème.

Ainsi que le montrent les dessins exposés, elle consiste à conserver l'appareil existant, et à installer l'appareil électrique sur la plate-forme extérieure, dans la hauteur du soubassement de l'ancienne lanterne. Un simple renvoi de mouvement permet à la machine de rotation de faire tourner à volonté l'un ou l'autre appareil. Un des organes qui concourent à l'éclairage électrique vient-il à se déranger, une lampe à huile est allumée immédiatement dans l'ancien appareil, et, si le phare perd de son intensité, ce n'est pas au point de compromettre la sécurité des navigateurs.

Le tableau qui suit fait connaître les intensités des divers appareils d'éclairage dont on vient de parler (*Voir* p. 347).

CLASSE 66

MATÉRIEL DE LA NAVIGATION ET DU SAUVETAGE

SECTION I

CALES ET BASSINS DE RADOUB, DOCKS FLOTTANTS, ETC.

PAR M. PASQUIER-VAUVILLERS.

CHAPITRE I.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Les modèles et dessins d'ouvrages destinés à la construction, à la visite et à la réparation du matériel naval qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1867, méritent pour la plupart d'être remarqués; ils mettent en évidence des perfectionnements incontestables; aucun d'eux toutefois ne constitue un progrès nouveau. Des ouvrages similaires, reposant sur les mêmes principes et offrant, à très-peu près, les mêmes dispositions générales, ont figuré aux Expositions précédentes, soit à Paris en 1855, soit à Londres en 1862. Il suit de là que le principal intérêt qu'offre l'étude des dessins et modèles relatifs à la partie du matériel de la navigation qui nous occupe, réside dans l'examen des progrès accomplis en vue de satis-

faire aux exigences des nouveaux types de bâtiments créés dans ces dernières années, et dans la comparaison des dispositions auxquelles chaque pays a donné la préférence.

La marine du commerce et la marine de guerre ont, en effet, subi une véritable transformation. D'une part, les dimensions des navires et leur tirant d'eau ont été notablement augmentés; leurs formes ont été affinées et le fer est devenu d'un emploi courant pour la construction des grands navires; d'autre part, tous les bâtiments de guerre et un grand nombre de navires du commerce ont été munis de machines; l'emploi de l'hélice comme propulseur s'est généralisé et paraît devoir être définitivement préféré à l'emploi des roues à aubes; enfin la vitesse est devenue une qualité indispensable, et cette qualité ne se conserve qu'à la condition que les carènes soient fréquemment nettoyées. Il est donc aujourd'hui nécessaire d'être en mesure de mettre à sec rapidement et économiquement les plus grands bâtiments, sans compromettre leur solidité, sans les déformer, quel que soit leur état, chargés ou à lège, et de pouvoir effectuer cette opération non-seulement au point de départ, mais encore en cours de navigation. Tel est, en somme, le but que l'industrie et l'art de l'ingénieur ont dû se proposer et qui a dû être atteint dans l'intervalle des trente dernières années. Jusque-là, on s'était résigné à opérer lentement ; l'application aux grands navires des moyens employés jusqu'alors, savoir : l'abatage en carène, le remontage sur cale, exigeaient que le bâtiment fut désarmé et complétement déchargé; des formes en maçonnerie existaient déjà depuis longtemps, mais elles étaient en nombre assez restreint et semblaient pour ainsi dire exclusivement réservées aux arsenaux militaires. D'ailleurs, ces formes étaient en général peu profondes, et l'on n'y admettait le plus souvent que des navires désarmés.

§ 1. — Cales de construction.

Les ouvrages destinés à la construction des navires n'avaient

aucune transformation à subir pour répondre à toutes les exigences du nouveau matériel de navigation.

Les cales de construction sont, en effet, restées ce qu'elles ont toujours été : un plan incliné, en général de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{12}$, que l'on consolide de façon à obtenir, pour les accores qui doivent soutenir le bâtiment pendant la construction, des points d'appui suffisamment résistants. Le navire une fois construit est débarrassé de ses accores, et il reste soutenu par un ber qu'il entraîne avec lui à la mer, en glissant de son propre poids sur des coulisses suiffées. On ne saurait rien imaginer de plus simple que cette combinaison. Les seuls perfectionnements à signaler résultent de l'application faite en Angleterre et en Hollande de l'emploi du fer dans la construction de la charpente des cales couvertes et de l'emploi du verre dans la construction des toitures. On a ainsi obtenu une économie dans les dépenses d'établissement et constitué des ouvrages sous lesquels, eu égard à la nature du climat, les travaux s'exécutent dans de meilleures conditions. Enfin, dans certains ports, on a installé sous les cales couvertes des treuils roulant sur des rails placés à la partie supérieure des poteaux qui supportent les toitures, et l'on est ainsi arrivé à effectuer rapidement et économiquement les manœuvres qu'exigent le levage et la mise en place des pièces de membrure.

En France, on paraît avoir préféré l'emploi des couvertures mobiles et renoncé, au moins quant à présent, à construire des cales couvertes. Aucun spécimen de ces ouvrages n'a d'ailleurs figuré à l'Exposition. En somme, sauf les perfectionnements de détail mentionnés ci-dessus, les cales de construction, telles qu'elles étaient autrefois disposées, ont, au moyen d'allongements proportionnés à l'augmentation en longueur des bâtiments, satisfait à tous les besoins.

§ 2. — Ouvrages destinés à la visite et à la réparation des navires.

Pour les ouvrages destinés à la visite et à la réparation des

navires, la situation était toute différente. Le moyen le plus usité, l'abatage en carène, était devenu inapplicable à la plus grande partie des nouveaux types et notamment aux bâtiments pourvus de machines. Les formes en maçonnerie, que l'on épuisait après les avoir fermées, soit par des portes busquées, soit par des bateaux-portes, n'avaient pas des dimensions suffisantes. Dans les ports à marée, on échouait les bâtiments sur des grils de carénage, et on profitait du moment de la basse mer pour les visiter et les réparer; mais l'emploi de ce moyen ne pouvait être généralisé. Enfin, on avait quelquefois remonté des navires sur des cales de reconstruction; mais cette opération, qu'il fallait pratiquer au moyen de câbles en chanvre et à bras d'homme, présentait pour les grands navires des difficultés presque insurmontables; on n'y avait recours que dans les cas extrêmes.

C'est de 1830 à 1840 que datent les perfectionnements apportés aux formes sèches et les essais sérieux d'appareils destinés à les remplacer.

En Angleterre et en France, on s'appliqua surtout à construire de grandes formes en maçonnerie et à agrandir celles déjà existantes; mais les États-Unis d'Amérique s'engagèrent dans une tout autre voie. Effrayés par l'importance du capital à immobiliser pour la construction des formes en maçonnerie (1), les ingénieurs américains s'appliquèrent immédiatement à la recherche et à la création d'appareils nouveaux destinés à remplacer les formes. Après avoir essayé des grils à glissières et des grils roulants, au moyen desquels on remontait les bâtiments sur cale, les Américains construisirent des grils qui étaient soulevés au moyen de verrins, puis ils substituèrent aux verrins des chaînes commandées par des presses hydrauliques. Mais ces engins n'étaient d'une application facile que pour les bâtiments d'un tonnage assez restreint, et c'est alors

(1) Des formes en maçonnerie, construites aux États-Unis, avaient coûté : à Boston, 3,663,000 fr.; à Norfolk, 5,039,000 fr.; à New-York, 11,487,000 fr.

que fut construit à Philadelphie le *Sectional floating dry dock*, qui était composé de neuf caïsses ou sections pouvant être employées isolément et soulever ensemble un bâtiment de 6,000 tonnes, puis enfin le dock flottant équilibré, ou *Balance floating dry dock*, qui diffère du précédent en ce que les sections rendues solidaires peuvent néanmoins être épuisées isolément, ce qui permet de donner au dock à flot telle position d'équilibre que l'on veut.

Enfin, pour n'avoir pas à construire autant de docks flottants que l'on aurait de bâtiments à réparer ou à visiter, les Américains imaginèrent de transformer le dock flottant en un simple engin de soulèvement. Le bâtiment, une fois soulevé, passait du dock flottant à terre en glissant ou en roulant sur une cale horizontale, et l'appareil devenait immédiatement disponible pour le soulèvement d'un autre navire.

Tous ces ouvrages étaient en service vers l'année 1850, et, en somme, on y trouve les dispositions générales, ou tout au moins l'idée première des appareils construits et exposés en 1867 par les ingénieurs anglais, savoir : les dispositions générales des docks flottants exposés par MM. Rennie, de Londres, Randolph et Elderg, de Glasgow, et l'idée première de l'appareil hydraulique appliqué par M. Edwin Clark aux docks Victoria, à Londres.

CHAPITRE II.

PRINCIPAUX OUVRAGES EXPOSÉS.

Ces appareils comportant tous les perfectionnements apportés jusqu'à ce jour à ce genre d'ouvrages, il est intéressant d'en faire une description sommaire, et, en y ajoutant la description de la forme de radoub en maçonnerie exposée dans la section française, on aura une connaissance complète des progrès réalisés jusqu'à ce jour.

Les docks flottants anglais, et celui dont le modèle est exposé par le Ministère de la Marine Royale des Pays-Bas, se composent essentiellement d'un caisson inférieur ou ponton partagé par des cloisons longitudinales et transversales en compartiments étanches. Ces cloisons donnent au ponton une raideur suffisante pour qu'il ne puisse pas se déformer, soit pendant le soulèvement, soit après l'émersion. La hauteur du ponton varie selon les dimensions du dock. Elle est portée à 5 mètres pour un dock projeté par MM. Randolph et Elderg pour la colonie anglaise des Bermudes, et au moyen duquel un bâtiment de 9 mètres de tirant d'eau pourrait être soulevé en une heure et demie. Des caissons latéraux, s'étendant le plus souvent dans toute la longueur du dock, augmentent la raideur du ponton. Ces caissons sont fortement reliés au ponton inférieur; leur hauteur est telle que, lorsque le dock est enfoncé pour recevoir un navire, la partie supérieure de ces caissons reste au-dessus de l'eau et constitue des quais flottants. D'autre part, les dimensions transversales et le mode de construction de ces caissons latéraux sont tels qu'ils donnent, pour l'accorage horizontal, tous les points d'appui dont on peut avoir besoin. Enfin, ces caissons portent les machines d'épuisement, les treuils et cabestans nécessaires pour amener le navire en place sur le ber, disposé pour le recevoir. Les tuyaux d'aspiration des pompes comportent des branchements distincts aboutissant à chacun des compartiments étanches du ponton inférieur du dock. On peut alors sans difficulté maintenir, pendant toute la durée des manœuvres, ce ponton sensiblement horizontal.

Ces dispositions se retrouvent dans tous les docks flottants ci-dessus mentionnés, qui ne diffèrent entre eux que par leurs dimensions et leurs formes extérieures. Les uns, savoir : les docks de Saïgon et de Callao, exposés par MM. Randolph et Elderg, et celui de Sourabaïa (Java), exposé par la marine des Pays-Bas, sont rectangulaires en plan ; les autres, savoir : celui qui a été exécuté par M. Rennie pour le port de Cartha-

gène (Espagne), et celui qui a été projeté pour la colonie anglaise des Bermudes, comportent un prolongement en pointe du ponton inférieur, destiné à faciliter le déplacement du dock après l'émersion. Enfin, la face intérieure des caissons latéraux est, ou verticale, ou à petits gradins, suivant l'usage adopté par les Anglais et les Américains pour les formes en maçonnerie, ou à larges et hautes banquettes, comme les parois des bassins de radoub construits en France.

Le dock flottant de Saïgon peut soulever des bâtiments du poids de 4,000 tonnes et de 7^{m}50 de tirant d'eau. Ceux de Carthagène et des Bermudes sont réputés pouvoir soulever des bâtiments de 10,000 tonnes et de 8^{m}50 à 9 mètres de tirant d'eau.

Le dock flottant de Carthagène est complété par un bassin à faible tirant d'eau, dont le fond a été dressé horizontalement et consolidé. Le dock flottant, portant le bâtiment à réparer, assis sur un chariot reposant sur quatre rails fixés au ponton, est amené dans ce bassin et échoué dans une situation telle que les rails du ponton se trouvent au niveau et dans le prolongement des rails d'une cale de halage, sur laquelle le navire est conduit au moyen de presses hydrauliques. Le même bassin sert d'entrée à trois cales de plus de 200 mètres de longueur et sur lesquelles six bâtiments peuvent être mis en réparation, tout en laissant le dock flottant disponible pour les navires dont l'état ne comporte qu'une simple visite ou un nettoyage de carène. Ces dernières dispositions sont sans doute ingénieuses, mais elles n'offrent pas pour les grands bâtiments et surtout pour les bâtiments en bois une sécurité suffisante ; pendant toute la durée des manœuvres, nécessairement assez longues, du soulèvement, de l'entrée au bassin et du halage sur cale, les flancs du navire ne sont appuyés que par le ber, et l'on perd ainsi l'un des principaux avantages du genre de dock flottant employé par M. Rennie pour Carthagène, c'est-à-dire la possibilité d'appuyer le navire par des accores horizontaux, aussitôt que la quille repose

sur les tins et que ses flancs sont en contact avec le ber.

Cet inconvénient se retrouve d'ailleurs dans tous les appareils de halage sur cale. Il faut cependant reconnaître que l'emploi du dock flottant comme élévateur rend l'opération du halage sur cale plus facile et plus sûre. La pente de la cale peut être en effet très-faible ; de plus, l'on évite la grande fatigue que supporterait le bâtiment échoué par une extrémité jusqu'au moment où, émergeant en partie, il reposerait complétement sur le ber. On éviterait, il est vrai, ce dernier inconvénient, qui est en somme le plus grave, en halant les bâtiments par le travers, mais, jusqu'à présent, ce moyen n'a pas été mis en pratique.

On trouve cependant, dans l'Exposition française, le modèle d'une cale ainsi disposée et proposée par MM. Moulinié et Labat pour le port de Bordeaux ; mais cette cale n'est pas terminée, elle n'a pas encore été expérimentée, et il est à craindre que, quelque précaution que l'on prenne, on n'arrive pas à répartir convenablement la traction sur toute la longueur du ber et à obtenir la même vitesse sur les dix-huit coulisses suiffées qui servent de glissières. Ces difficultés sont du même ordre que celles que l'on a rencontrées dans le lancement par le travers du *Great-Eastern;* elles augmentent en raison du poids du bâtiment à haler à sec; lorsque ce poids est considérable elles se compliquent des déformations qui, sous l'influence d'une forte pression, peuvent modifier les surfaces en contact. En somme, le halage direct sur une cale inclinée, alors même qu'on l'exécuterait en prenant le bâtiment par le travers, ne paraît, quant à présent, praticable avec sécurité que pour les bâtiments d'un tonnage restreint.

L'application la plus importante et la mieux entendue que l'on ait à signaler du halage sur cale est l'emploi qui en a été fait en Angleterre pour la conservation des canonnières, qui ont été par ce moyen remisées à terre sous des hangars couverts. Les canonnières soumises à cette opération n'avaient pas plus de 35 mètres de longueur ; leur poids total était donc

relativement faible; de plus, elles n'étaient remontées à sec qu'après avoir été désarmées.

L'appareil de visite et de radoub, exposé par M. Clark, se compose de deux rangs de colonnes creuses en fonte, enfoncées dans le sol et remplies de béton sur 4 mètres de hauteur; toutes les colonnes d'un même rang sont reliées par leur tête à l'aide d'un pont fixe qui sert aux manœuvres. Ces deux rangs de colonnes forment deux estacades parallèles, entre lesquelles se manœuvrent les navires à soulever et les pontons qui doivent les supporter après le levage. Dans chacune de ces colonnes est un cylindre à piston plein communiquant avec un système de pompes destinées à comprimer l'eau sous les pistons des cylindres. La tige de chaque piston porte une traverse qui se meut avec elle; cette traverse est guidée dans son mouvement par les colonnes qui renferment les cylindres. Pour cela, ces colonnes présentent, dans un même plan diamétral, des fentes dont la longueur est en rapport avec la course du piston, et dans lesquelles se meuvent les traverses, lesquelles portent à leurs extrémités des tiges pendantes qui supportent des poutres en fer allant d'une colonne à celle qui lui fait face sur le rang opposé. Cette poutre est horizontale, lorsque les pistons sont au bas de leur course; elle s'élève lorsque l'eau comprimée est introduite sous les pistons, et on peut, en manœuvrant convenablement les robinets d'admission de l'eau comprimée, régler comme on le veut son ascension. L'appareil de M. Clark comporte seize poutres de ce genre, et, par conséquent, trente-deux colonnes et trente-deux presses. Sur ces poutres, descendues au point le plus bas de leur course, s'échoue un ponton, dont les dimensions en longueur et en hauteur sont en rapport avec celles du bâtiment à soulever.

Ce ponton, destiné à supporter le navire après le soulèvement, est divisé en compartiments qui se vident spontanément lorsque le ponton émerge. Dès que le navire a été amené entre les colonnes, dans la position qu'il doit occuper,

on fait agir les presses; au moment où les traverses du ponton arrivent en contact avec la quille, on cale le bâtiment avec des coins, et les presses, continuant leur action, font émerger le navire, que l'on accore le plus tôt possible. Lorsque le ponton, arrivé au-dessus du niveau de l'eau, s'est vidé par ses vannes et ses clapets, on abaisse les poutres; le navire reste supporté par le ponton; il est alors mené dans un bassin spécial pour y subir les réparations dont il a besoin, et l'appareil reste disponible pour une nouvelle opération. Le levage, à partir du moment où le navire a été arrêté en place sur le ponton, s'opère avec une très-grande rapidité, et, on peut le dire, avec une régularité remarquable; mais les opérations préliminaires demandent des précautions minutieuses, que le vent entrave souvent. Enfin, pour éviter la déformation des pontons sous la charge du bâtiment et de ses accores, on a été conduit à donner à ces pontons une grande épaisseur, ce qui diminue d'autant le tirant d'eau des navires que l'appareil peut recevoir.

Suivant M. Clark, l'appareil des docks Victoria pourrait soulever des bâtiments du poids de 3,500 tonnes, ce qui suppose que la pression sous les pistons peut être portée à 240 atmosphères environ. Le tirant d'eau est limité par la course des pistons, qui est de 7^{m}62; mais de cette course il faut déduire, pour avoir le tirant d'eau des navires que l'appareil peut soulever, l'épaisseur des pontons qui, pour des longueurs de 40 à 75 mètres, varie de 1^{m}55 à 1^{m}91. Le tirant d'eau des plus grands bâtiments auxquels l'appareil peut être appliqué est donc limité à 5^{m}60.

Les perfectionnements apportés aux formes en maçonnerie ont consisté à leur donner des dimensions en rapport avec celles des bâtiments actuellement en usage, et à les munir d'appareils d'épuisement d'une plus grande puissance. Dans les ports de guerre, cette puissance est aujourd'hui telle que quatre heures au plus suffisent pour l'entrée au bassin, la mise à sec et l'accorage pour une visite des plus grands bâtiments.

Les bateaux-portes se construisent maintenant en tôle; leurs dispositions sont très-simples, et telles que leur manœuvre est devenue très-facile. Ces bateaux sont employés en France à la fermeture de presque toutes les formes. En Angleterre, on trouve, au contraire, un grand nombre de formes fermées par des portes de flot.

Un seul modèle de forme en maçonnerie, celui de la forme double du Salon, exécutée au port militaire de Brest, a figuré à l'Exposition; elle reproduit les dispositions généralement usitées en France, et qui sont, d'ailleurs, connues par les modèles exposés soit à Paris, en 1855, soit à Londres, en 1862, c'est-à-dire par les modèles des formes de Toulon et de Cherbourg, construites par MM. Bernard, Noël et Reibell. Toutefois, la forme du Salon offre ceci de particulier, que, établie dans une presqu'île, entourée par la Penfeld, on a pu lui ouvrir deux entrées et la disposer de telle sorte qu'elle constitue à volonté ou une forme unique de 225 mètres de longueur utile, ou deux formes distinctes qui peuvent être remplies et épuisées isolément. Les deux formes simples ainsi obtenues auraient encore la longueur nécessaire pour recevoir les plus grands bâtiments de guerre.

CHAPITRE III.

COMPARAISON DES DIVERS SYSTÈMES DES OUVRAGES EXPOSÉS.

Au point de vue des services que l'on peut en attendre, on doit classer sur la même ligne les formes de radoub et les docks flottants du genre de ceux de Carthagène, de Saïgon, de Callao, des Bermudes, que les Américains ont désigné sous le nom de *Balance floating dry dock*. Ces appareils offrent les mêmes facilités pour les manœuvres et des conditions analogues de sécurité; ils permettent de commencer l'étayement par un accorage horizontal qui peut être mis

en place aussitôt que la quille vient porter sur les tins disposés pour la recevoir. On ne saurait objecter l'accident arrivé, à Callao, au dock flottant construit par M. Randolph. Ce dock flottant a, en effet, chaviré sous le poids d'une frégate cuirassée; mais des accidents, de nature à compromettre absolument les navires, se produiraient de même dans les formes en maçonnerie, si l'on n'opérait pas avec les précautions et la précision que comporte une opération aussi délicate que celle de mettre debout sur leur quille des bâtiments surchargés dans les hauts, comme le sont les bâtiments cuirassés. Avec les formes en maçonnerie, comme avec les docks flottants dont il s'agit, on peut mettre à sec les plus grands bâtiments. La durée de la manœuvre est sensiblement la même; elle dépend uniquement de la puissance des machines qui, dans les formes en maçonnerie, ont à épuiser l'eau contenue entre le bâtiment et les parois de la forme, et, dans les docks flottants, un poids d'eau équivalent au poids du bâtiment augmenté du poids de l'excès d'eau introduit dans les caisses étanches pour faire enfoncer le ponton inférieur à la profondeur nécessaire.

L'appareil construit par M. Clark est, sans contredit, une des plus merveilleuses applications que l'on ait faite du principe de la presse hydraulique. Mais, au point de vue des services qu'il est appelé à rendre, on doit reconnaître que le navire n'est, pendant toute la durée du soulèvement, soutenu que par des coins; qu'il faut attendre que le ponton ait émergé pour commencer l'accorage, et que, dans tous les cas, cet accorage ne peut être aussi complet que dans les formes en maçonnerie et les docks flottants à caissons latéraux. Sous ce rapport, ce système présente les mêmes inconvénients que les cales de halage, et l'on a de plus à redouter la déformation des pontons.

Enfin, la puissance de l'appareil dont le modèle est exposé est limitée; il ne peut être employé pour des bâtiments de plus de 3,500 tonneaux de déplacement, et de 5m60 de tirant

d'eau. Pour obtenir une plus grande puissance, il faudrait augmenter ou la pression ou le diamètre des cylindres ; dans tous les cas, il faudrait donner une plus grande amplitude à la course des pistons, et il est à craindre que, dans cette voie, l'on ne soit arrêté par les difficultés pratiques que présenterait alors l'exécution des organes principaux de l'appareil. La rapidité de manœuvre que l'on attribue à l'appareil Clark paraît pouvoir être obtenue avec les formes en maçonnerie et les docks flottants, surtout si l'on tient compte de la durée des manœuvres préliminaires, qui sont, avec l'appareil Clark, plus longues et plus minutieuses.

Le prix de revient des appareils pris dans l'état où le constructeur les livre, ne suffit pas pour apprécier les avantages qu'ils peuvent présenter au point de vue économique.

Les formes en maçonnerie capables de recevoir les plus grands navires, et telles qu'on les construit dans les ports militaires, coûtent, en France, selon les difficultés que l'on rencontre dans les fondations, de 2,500,000 francs à 3 millions, y compris les puissants appareils d'épuisement dont on les munit et le bateau-porte. Mais lorsque l'on construit un groupe de formes, certaines dépenses, et notamment celles relatives aux machines d'épuisement, ne se répètent pas ; c'est ainsi que, à Cherbourg, la dépense, faite pour le groupe des quatre formes nord, n'a pas atteint la somme de 8 millions. Le dock flottant de Saïgon a coûté, livré sous palan à Glasgow, 850,000 francs, non compris, par conséquent, les frais de montage et de transport. Ce dock, qui ne peut soulever que des navires du poids de 4,000 tonnes, pesait approximativement 2,250 tonnes. Un dock flottant capable de soulever les plus grands bâtiments (1), coûterait au moins 1,500,000 francs dans les mêmes conditions.

(1) Le *Warrior* déplace en charge 9,000 tonnes ; le *Solferino*, dans les mêmes conditions, déplace 7,000 tonnes, la *Gloire*, 5,800 tonnes ; ces bâtiments tirent de 8m 50 à 9m d'eau. Les plus grands paquebots anglais et français (*Scotia*, *Napoléon III*) déplacent en charge 6,500 tonnes et tirent de 6m 70 à 6m 80 d'eau.

navires, la situation était toute différente. Le moyen le plus usité, l'abatage en carène, était devenu inapplicable à la plus grande partie des nouveaux types et notamment aux bâtiments pourvus de machines. Les formes en maçonnerie, que l'on épuisait après les avoir fermées, soit par des portes busquées, soit par des bateaux-portes, n'avaient pas des dimensions suffisantes. Dans les ports à marée, on échouait les bâtiments sur des grils de carénage, et on profitait du moment de la basse mer pour les visiter et les réparer; mais l'emploi de ce moyen ne pouvait être généralisé. Enfin, on avait quelquefois remonté des navires sur des cales de reconstruction; mais cette opération, qu'il fallait pratiquer au moyen de câbles en chanvre et à bras d'homme, présentait pour les grands navires des difficultés presque insurmontables; on n'y avait recours que dans les cas extrêmes.

C'est de 1830 à 1840 que datent les perfectionnements apportés aux formes sèches et les essais sérieux d'appareils destinés à les remplacer.

En Angleterre et en France, on s'appliqua surtout à construire de grandes formes en maçonnerie et à agrandir celles déjà existantes; mais les États-Unis d'Amérique s'engagèrent dans une tout autre voie. Effrayés par l'importance du capital à immobiliser pour la construction des formes en maçonnerie (1), les ingénieurs américains s'appliquèrent immédiatement à la recherche et à la création d'appareils nouveaux destinés à remplacer les formes. Après avoir essayé des grils à glissières et des grils roulants, au moyen desquels on remontait les bâtiments sur cale, les Américains construisirent des grils qui étaient soulevés au moyen de verrins, puis ils substituèrent aux verrins des chaînes commandées par des presses hydrauliques. Mais ces engins n'étaient d'une application facile que pour les bâtiments d'un tonnage assez restreint, et c'est alors

(1) Des formes en maçonnerie, construites aux États-Unis, avaient coûté : à Boston, 3,665,000 fr.; à Norfolk, 5,039,000 fr.; à New-York, 11,187,000 fr.

naux anglais, à construire des formes en maçonnerie, et c'est, en définitive, à des stations lointaines, à des ports où les ressources en ouvriers et en matériaux manquent absolument, que sont destinés les docks flottants dont les modèles figurent à l'Exposition; cependant, des formes en maçonnerie ont été établies, à Sydney (Australie), par l'Angleterre, et, à la Martinique, par la France.

Quant au dock Clark ou dock Victoria, il convient de constater que, bien que cet appareil ait, à raison de ses dispositions particulières et de la précision remarquable de ses manœuvres, fixé à un haut degré l'attention des ingénieurs, son emploi ne s'est pas vulgarisé. Il n'a pas été reproduit, même en Angleterre; et en France, après des études sérieuses et même des négociations entamées pour son application au port de Marseille, on a définitivement donné la préférence aux formes en maçonnerie.

SECTION II

MARINE COMMERCIALE

PAR M. DE FRÉMINVILLE.

CHAPITRE I.

TYPES ET MODELES DE NAVIRES EMPLOYÉS DANS LA MARINE COMMERCIALE, POUR LA NAVIGATION MARITIME OU FLUVIALE; MACHINES A VAPEUR APPROPRIÉES A CE SERVICE; EMBARCATIONS A VAPEUR.

§ 1. — Types de navires employés dans la marine commerciale.

Les spécimens de l'industrie maritime, réunis à l'Exposition Universelle de 1867, forment un ensemble plus complet qu'à aucune des Expositions antérieures, et, bien que l'on y regrette l'absence presque absolue des États-Unis d'Amérique, dont la marine occupe une place si considérable, pour ne pas dire la plus importante dans le commerce maritime du monde entier, les expositions de l'Angleterre, de la France, des Pays-Bas, de l'Autriche, de la Suède et de la Norwége, de la Prusse et de l'Italie, n'en présentent pas moins des sujets d'étude très-intéressants. Pendant les cinq années écoulées depuis l'Exposition de Londres, il ne s'est accompli aucun fait bien nouveau dans la marine commerciale; certains principes posés antérieurement ont été confirmés par l'expérience; quelques exagéra-

tions ont été abandonnées et, en somme, la voie dans laquelle on ne s'aventurait encore que timidement s'est élargie et consolidée.

Navigation à voiles. — Les navires à voiles jouent un rôle de moins en moins important dans la marine commerciale, où ils tendent constamment à être remplacés par les navires à vapeur. Tous ceux qui sont encore employés dans quelques services importants sont de l'espèce des clippers adoptés maintenant sans exception comme le type des navires de long cours. On leur a fait subir peu de modifications depuis leur première apparition ; ils sont caractérisés par une longueur relative d'environ cinq fois la largeur, et une voilure plus ou moins considérable, suivant la nature du service auquel ils sont destinés, mais toujours supérieure à celle des anciens voiliers. Ils sont généralement affectés à des navigations lointaines, telles que celles de l'Australie, de l'Inde et de la Chine. C'est pour le commerce du thé que les navires les plus rapides sont nécessaires ; la plupart de ceux qui sont employés à ce trafic atteignent des vitesses de près de sept nœuds (6 nœuds 75) sur l'ensemble de leur traversée : ce sont assurément de très-belles vitesses pour des navires à voiles, mais elles ne suffisent déjà plus aux exigences actuelles, et les navires à vapeur mixtes, ou à toute puissance, commencent à être employés pour le commerce de la Chine et de l'Inde, où ils ne tarderont pas à monopoliser toutes les grandes opérations.

Jusqu'à ce jour, les navires à voiles et en bois ont présenté l'avantage d'un prix d'achat inférieur à celui des navires en fer et surtout à celui des navires à vapeur ; mais les constructeurs de navires en fer étant parvenus à abaisser de plus en plus leurs prix, et l'exploitation mieux entendue des navires à vapeur ayant permis de régler le fret à un taux à peu près égal et souvent inférieur à celui des navires à voiles ordinaires, ceux-ci ne peuvent exister que dans les pays où le bois est très-abondant, ou dont l'industrie métallurgique est encore peu

développée. Parmi les premiers, les États-Unis d'Amérique auraient dû figurer en première ligne, et il est fort regrettable que les constructeurs de New-York ou de Boston n'aient envoyé aucun spécimen de leurs grands navires ; l'Amérique n'est représentée que par le Canada, dont les produits, bien connus maintenant sur le marché européen, sont remarquables surtout par leur bas prix. Nous citerons entre autres les modèles de M. Rosa et de M. Fergusson, tous les deux de Québec ; leurs formes sont bien étudiées et ils constituent des instruments de transport d'un emploi avantageux, après toutefois qu'ils ont reçu dans les ports de l'Europe les consolidations indispensables dans leur coque et leur gréement, qui continuent à être établis d'une façon tout à fait grossière et insuffisante ; mais, même après le surcroît de dépense occasionné par ces travaux supplémentaires, leur prix définitif est encore peu élevé, et, à ce titre, ils sont appelés à rendre des services réels à la marine commerciale. Ajoutons, néanmoins, que les bois employés à ces constructions, tous d'essences tendres, ont peu de durée, et qu'il y a là un inconvénient de nature à compenser en partie l'économie faite sur le prix d'achat.

La Suède et la Norwége fournissent également des navires à bas prix, construits avec des bois résineux d'une durée limitée, mais qui se distinguent de ceux du Canada par des formes plus élégantes, et surtout par une construction très-soignée. MM. Dekke, de Norwége, et M. Agerskow, ainsi que M. Kierkegaard, de Suède, ont exposé des modèles de navires qui paraissent heureusement combinés et dont les tonnages réduits sont bien appropriés aux besoins de nos armateurs. La Prusse a toujours été un grand centre de production de bois propres à la marine ; aussi les chantiers de la Baltique fournissent-ils des navires dans des conditions avantageuses et d'une durée supérieure à ceux que nous venons d'indiquer, par suite de l'emploi du chêne pour la plus grande partie de leur charpente. Dans la section Prussienne, les modèles de M. Mitslaff,

constructeur à Elbing, méritent de fixer plus particulièrement l'attention. Le royaume des Pays-Bas se trouve dans des conditions analogues, avec cette différence que sa navigation s'adresse de préférence aux mers des Indes. M. Smit, à Kinderdik, est renommé pour la marche supérieure de ses beaux clippers. La France est dans une situation privilégiée pour les bois de marine; aussi les navires en bois y ont-ils conservé une importance numérique très-marquée. Nos constructeurs ont adopté comme ceux des autres pays les formes de clippers : MM. Derrik, Van de Zande à Dunkerque; Cardon, à Honfleur; Moulinier-Labat, à Bordeaux, possèdent et dirigent des chantiers dont la bonne réputation est parfaitement établie. Citons encore les constructeurs de Gênes, dont les navires joignent à leurs autres qualités celle d'être construits avec des bois de chêne des meilleures essences et d'une durée exceptionnelle.

Nous ne quitterons pas l'examen des navires en bois sans dire un mot des travaux de notre célèbre constructeur du Havre, M. Augustin Normand. La supériorité de ses œuvres est telle, qu'il n'y avait pas lieu de la consacrer par les récompenses de l'Exposition Universelle. La Commission Impériale ne lui a donc fait aucun tort en l'appelant à faire partie du Jury International comme le juge le plus compétent en matière de constructions navales. M. Normand, fils et petit fils de constructeurs du Havre qui ont honorablement tenu leur place dans l'industrie maritime, est l'homme des traditions aussi bien que l'homme du progrès; son exposition est tout un enseignement historique; il a eu l'heureuse idée de représenter, par une série de modèles, les types variés produits par les trois générations dont il est le plus digne représentant. On y remarque combien le constructeur actuel est entré résolûment et dès d'abord dans la voie du progrès, en adoptant de suite les formes allongées et aiguës qui font le succès de la marine moderne. Les principaux navires de M. Normand sont en bois et exécutés avec une perfection qui n'a l'égale sur

aucun point du globe. Leur solidité est à peine inférieure à celle des meilleurs navires en fer, quelles que soient d'ailleurs leurs proportions de longueur; c'est ce qui lui permet de construire en bois des navires à vapeur rapides, en leur conservant le doublage en cuivre si favorable à la marche; son modèle du yacht impérial *le Prince-Jérôme*, à vapeur et à hélice, peut être considéré comme un des spécimens les plus accomplis de l'architecture navale moderne.

Navigation à vapeur, navires de transport. — La prédominance des navires à vapeur devient de jour en jour plus prononcée, et nous les voyons affectés actuellement au transport des marchandises même les plus communes, réservées jusqu'alors, aux navires à voiles. C'est surtout en Angleterre que le développement de la marine à vapeur est devenu le plus considérable; d'abord limitée aux côtes du Royaume-Uni, elle s'est rapidement étendue à tout le littoral de l'Europe septentrional, puis, bientôt après, jusqu'à la Méditerranée, la côte d'Afrique et celle de l'Amérique. Maintenant les Indes mêmes et l'Australie sont desservies par des navires à vapeur, et l'on prévoit le moment où ils seront les seuls employés à des opérations de quelque importance. Les navires dont nous voulons parler ici sont spécialement affectés au transport des marchandises; si quelques-uns prennent des passagers, ce n'est qu'un accessoire dans leur trafic principal, et ils restent complétement distincts des paquebots dont le régime a bien aussi subi quelques modifications, mais qui ne présentent pas de progrès aussi marqués que les navires de transports proprement dits. Ceux-ci ne recevant aucune subvention postale, doivent trouver dans leurs seules ressources des produits rémunérateurs. Les conditions du succès résident dans la régularité et la rapidité de leurs voyages, dans la quantité de marchandises qu'ils peuvent transporter, et dans la faiblesse relative de la puissance motrice. Pour réaliser ces conditions multiples, les constructeurs ont été conduits à faire des navires de plus en

plus longs, relativement à leur section transversale. L'expérience a suffisamment démontré, en effet, que la résistance à la marche n'est pas sensiblement augmentée par cet accroissement de longueur, tandis que les capacités intérieures, les quantités de marchandises que l'on peut embarquer, et, par conséquent, les bénéfices de l'exploitation sont directement proportionnels à la longueur du bâtiment.

Dans la pratique, la longueur des navires est comparée à leur plus grande largeur. Le rapport de ces deux dimensions a été porté de cinq à six, dès l'origine de la navigation à vapeur, puis à sept, et même à huit, proportion qui paraissait la limite usuelle lors de l'Exposition de 1862. Pour bon nombre des navires dont les modèles figurent à l'Exposition actuelle, la longueur égale neuf et même dix fois la largeur. Dans les paquebots et les navires de vitesse, ces proportions ont été nécessitées par l'affinement propre à atténuer la résistance à la marche; dans les transports, les extrémités ont des acuités modérées, et l'on arrive aux grandes longueurs en conservant à la région moyenne une forme cylindrique favorable au développement des capacités intérieures. De semblables proportions entraînent des difficultés de construction que l'emploi du fer permet seul de résoudre d'une manière satisfaisante ; aussi peut-on dire que, actuellement, tous les navires à vapeur sont construits en fer.

Les grandes longueurs relatives n'affectent pas seulement la solidité du navire; elles modifient profondément la manière dont il se comporte à la mer ; elles réclament des précautions particulières, soit de la part de l'armateur, soit de celle du constructeur, pour que le navire s'élève facilement sur la lame, et qu'il ne soit pas exposé à être chargé par la mer, comme cela arriverait infailliblement si, dans l'oscillation de tangage, il accomplissait son mouvement d'immersion au moment où la houle se soulève devant lui. La perte récente de deux navires construits dans les proportions modernes, qui ont été engloutis par la mer sans qu'ils eussent éprouvé d'avaries

graves et par le seul fait de l'invasion de l'eau pénétrant dans la cale par les ouvertures du pont supérieur, est venue porter le doute dans bien des esprits, et faire craindre qu'en dépassant les limites de la prudence on n'ait, en vue des bénéfices à réaliser, adopté des types de navires voués, par leurs proportions mêmes, à des dangers à peu près inévitables. Ces craintes méritaient une attention d'autant plus sérieuse que, si elles intéressent l'humanité, elles mettent également en cause les questions vitales du commerce maritime. Sans contester les difficultés inhérentes à la navigation des bâtiments de grande longueur, les deux exemples malheureux que nous venons de citer ne conduisent pas à la condamnation du système; les navires dont il s'agit n'avaient pas une longueur exagérée, environ sept fois et demi la largeur, et leur perte doit être attribuée à ce que leurs extrémités étaient surchargées de tugues et de dunettes largement développées, réunies par des pavois élevés qui formaient dans la partie centrale du navire une sorte de cavité où la mer, qui embarquait à bord, se trouvait emprisonnée sans issues suffisantes; l'eau devait donc charger le navire et occasionner les désordres qui, finalement, ont entraîné sa perte. Il faut, pour éviter ce danger, que la hauteur des œuvres mortes soit en rapport avec la longueur, et, dans le cas qui nous occupe, on serait arrivé au résultat voulu en réunissant la tugue et la dunette par un pont continu, constituant un *spar deck*, ainsi que beaucoup de constructeurs le pratiquent; avec cette disposition bien simple rien n'empêche d'employer les longueurs égales à dix fois la largeur.

La solidité des navires en fer, qui paraissait excessive avec les anciennes proportions est devenue à peine suffisante avec les nouvelles; c'est ce qui a conduit les ateliers anglais à augmenter les dimensions de toutes les parties de la charpente : tôles du bord, membrures, renforts de toutes sortes; et l'on est arrivé ainsi à des coques pesantes, qui peuvent néanmoins manquer de solidité, si les assemblages ne sont pas exécutés,

avec tout le soin nécessaire, ainsi que cela arrive trop fréquemment; et, bien que, dans les établissements de premier ordre, tels que la Compagnie du *Thames iron Work*, à Londres, ceux de M. Laird, à Birkenhead, de M. Napier, à Glascow, le travail soit très-soigné et très-satisfaisant, nous devons dire qu'en général la fabrication courante des ateliers anglais laisse à désirer; la nécessité de produire à bon marché a fait sacrifier la précision du travail, et, dès lors, l'accumulation de matière n'est qu'un défaut de plus. Une marche différente a été suivie dans les ateliers français, où l'on a toujours apporté le soin le plus scrupuleux dans l'exécution des assemblages, et l'on est parvenu de la sorte à obtenir la solidité voulue, sans recourir à des épaisseurs exagérées qui alourdissent inutilement les coques. C'est surtout dans les ateliers de la Compagnie des *Forges et Chantiers de la Méditerranée* que les constructeurs en fer se font remarquer par ces qualités; aussi parvient-on à leur donner une légèreté exceptionnelle, avantage sur lequel il est assurément superflu d'insister. Citons cependant comme de très-bons chantiers pour la production des navires à vapeur en fer, ceux de MM. Mitchell et Palmers, à Newcastle; Oswald, à Sunderland; Denny, à Dumbarton.

Choix du moteur pour les navires mixtes ou les paquebots. — Pour les navires mixtes, le choix du moteur ne pouvait être douteux; il fallait avant tout qu'il laissât la faculté d'employer les voiles, toutes les fois que la direction du vent le permettrait, et cette condition désignait suffisamment l'hélice; aussi, à part quelques navires affectés à de courtes traversées dans des mers très-dures, voyons-nous l'hélice employée d'une manière générale. Indépendamment des avantages que l'hélice présente par elle-même, les machines propres à la mettre en mouvement sont, par la force même des choses, plus légères et moins encombrantes que les machines à roues et facilitent ainsi le chargement. Ces navires

mixtes ont d'ailleurs de belles vitesses; il n'est pas rare d'en rencontrer qui exécutent leurs traversées avec des vitesses moyennes de 10 nœuds, et, comme ils prennent des passagers à un prix relativement très-bas, puisque le transport des marchandises est l'élément le plus important de leurs revenus, ils commencent à faire une concurrence sérieuse aux paquebots rapides.

Pour ceux-ci, affectés qu'ils sont au transport des dépêches et des voyageurs, le secours des voiles est tout à fait secondaire : leurs traversées doivent être faites à la vapeur seule, car ce qu'il leur faut avant tout, c'est la promptitude et la régularité des voyages. Pour obtenir ces résultats, on doit employer des puissances mécaniques considérables et choisir des machines qui ne soient exposées à aucune avarie susceptible de paralyser leur action. Pendant longtemps les machines à roues ont paru les seules susceptibles de satisfaire à ces conditions, et sur la ligne qui présente les plus grandes difficultés, c'est-à-dire celle de New-York, elles avaient été invariablement conservées par la *Compagnie Cunard*, à laquelle des succès constants donnaient une autorité considérable en pareille matière. La *Compagnie générale Transatlantique* ne voulant rien donner au hasard adopta aussi les roues pour ses premiers paquebots ; cependant les bons résultats donnés par l'hélice employée par la *Compagnie des Messageries Impériales* sur les paquebots de la ligne de l'Indo-Chine, ceux non moins importants obtenus sur tous les navires à marchandises, dissipèrent peu à peu les craintes conçues *à priori*, plutôt d'après des idées théoriques que sur des faits, et la Compagnie Cunard fit avec *le China* un premier et heureux essai de l'hélice, sur les paquebots de New-York ; bientôt après, M. Napier, de Glasgow, construisit pour la *Compagnie générale Transatlantique* le paquebot à hélice *le Pereire*, le plus rapide des navires qui traversent l'Océan, et non-seulement ce navire a de grandes vitesses, mais son service est parfaitement régulier, et ses résultats économiques sont tels, que la question est

maintenant résolue et que les navires à hélice ont été définitivement admis dans les services des paquebots rapides.

Cependant les navires à roues présentent l'avantage d'être exempts des trépidations que l'hélice communique à toute la charpente; ils possèdent encore celui, fort apprécié des voyageurs, d'avoir des roulis plus doux et moins amples, aussi seront-ils conservés pour certains cas particuliers : ainsi le *Mahrousse*, magnifique paquebot ou navire de plaisance construit par M. Samuda de Londres pour le vice-roi d'Égypte, est pourvu de machines à roues exécutées par M. Penn. Lors de ses essais, ce navire a obtenu des vitesses de 18,5 nœuds dépassant ainsi celle des paquebots d'Holyhead à Dublin, réputés jusqu'alors comme les plus rapides de la marine, soit commerciale, soit militaire. Les roues sont également conservées pour les paquebots qui font la traversée de la Manche et qui, employés uniquement au transport des voyageurs, doivent leur offrir le plus possible de confort intérieur. M. Randolphe Helder, de Glasgow, conserve aussi les roues pour les paquebots de l'océan Pacifique ; quoique l'on ne saisisse pas bien les motifs déterminants de cet emploi, on peut supposer que dans les parages où ils naviguent les voiles étant de peu d'usage, on avait moins d'intérêt à employer l'hélice.

Production de navires cuirassés par l'industrie privée. — Dans ces dernières années, les chantiers de l'industrie privée ont été appelés à concourir largement à la construction des navires cuirassés, devenus nécessaires à toutes les nations du globe. A l'exception des États-Unis d'Amérique, qui ont pu subvenir par eux-mêmes à leurs besoins, on peut dire que ce sont les ateliers de l'Angleterre et de la France qui ont produit l'ensemble des nouvelles flottes cuirassées : de l'autre côté du détroit, les ateliers de Blackwall, ceux de MM. Samuda, Laird, Napier, ont reçu de nombreuses commandes de l'Amirauté anglaise et de divers États étrangers. En France, les chantiers de la Seyne ont été, dès l'abord, en état de satisfaire aux commandes

les plus importantes, et la bonne exécution de leurs travaux leur a conservé, dans ce genre de construction, la supériorité que nous signalions au commencement de ce rapport ; les chantiers et ateliers de l'Océan, ceux de M. Gouin, à Nantes, ont également pris part à la construction des navires cuirassés, et leurs produits ont été satisfaisants.

Nous n'examinerons pas ici les divers systèmes de navires produits, soit par l'initiative des établissements privés, soit par les marines des États intéressés ; nous voulons seulement constater l'influence avantageuse que ces grands travaux ont exercée sur l'industrie maritime, en forçant les ateliers privés à développer leurs moyens d'action et à acquérir des facultés nouvelles. En ce qui nous concerne, nous n'avons plus, comme par le passé, à envier à l'Angleterre ces ateliers puissants qui pouvaient à un moment donné être d'une si grande ressource pour la marine militaire, et nos grands établissements industriels ont suffisamment montré quels secours on pouvait en attendre.

Navires à hélices jumelles. — C'est pour certaines classes de navires de guerre que les hélices doubles, ou jumelles proposées déjà depuis longtemps, ont reçu les premières applications importantes. Cette disposition était représentée à l'Exposition de 1862 par les projets du capitaine Saymonds du Royaume-Uni ; depuis cette époque, elle est entrée dans le domaine de la pratique, d'abord pour des navires à faible tirant d'eau, puis bientôt pour des navires dont les proportions ne nuisaient en rien à l'installation de l'hélice ordinaire, et pour lesquels les hélices doubles ont été préférées uniquement à cause des avantages qu'elles procurent pour évoluer dans de petits espaces. On remarque de nombreuses applications de ce système à des navires de guerre dans les vitrines de M. Laird et dans celles de M. Rennie, tous deux de la section anglaise ; nous regrettons de ne pas voir figurer à l'Exposition les navires à hélices doubles de M. Dudgeon, qui s'est fait de ce genre de

constructions une véritable spécialité. Les premiers qu'il produisit furent huit *blokade runner* destinés à forcer le blocus des fleuves des États du Sud de l'Amérique pour y prendre des chargements de coton. Il fallait des navires à faible tirant d'eau et, dans ces conditions, les hélices doubles donnèrent d'excellents résultats. Leur succès comme vitesse et comme utilisation de la force motrice a conduit M. Dudgeon à continuer l'emploi du même système, bien qu'il ne fut plus commandé par les exigences d'une navigation spéciale; ses ateliers ont produit plus de vingt navires de ce genre, au nombre desquels figure un paquebot rapide, et plusieurs personnes regardent les hélices doubles comme appelées à prendre une grande extension. Pour nous, nous ne pensons pas qu'elles possèdent des avantages généraux de nature à leur assurer la préférence sur l'hélice simple; elles présentent au contraire l'inconvénient de nécessiter des mécanismes moteurs trop compliqués; mais, dans le cas de navires à faibles tirants d'eau et à grande vitesse, elles seront d'un emploi avantageux.

Navigation fluviale. — La navigation fluviale est bien loin d'avoir suivi le mouvement ascensionnel de la navigation maritime. L'Autriche, et l'Angleterre pour ses possessions de l'Inde, sont les seules nations qui représentent cette industrie à l'Exposition Universelle. Quant à la France, c'est plutôt un mouvement rétrograde que nous avons à constater, et, à part quelques cas exceptionnels, les entreprises de ce genre ont dû s'éteindre devant la concurrence trop puissante des compagnies de chemins de fer.

La seule exploitation fluviale convenablement représentée dans la classe 66 est celle de la Compagnie Impériale et Royale autrichienne de navigation à vapeur sur le Danube; cette Compagnie a exposé la série complète de ses navires, de plusieurs types et mis en rapport avec le régime des diverses sections du fleuve qu'ils parcourent. On y remarque les bateaux à marchandises destinés à être remorqués et appropriés

les uns au transport du blé, les autres à celui des bestiaux, tous pourvus de grues ou d'engins propres à faciliter les opérations de chargement ou de déchargement; les bateaux porteurs à hélice de 45 chevaux et de 250 tonneaux de port pouvant marcher à des vitesses de deux à trois nœuds; les remorqueurs à roues de la force de 200 chevaux, susceptibles de traîner à leur suite des convois de dix à douze bateaux de marchandises; enfin, les bateaux de voyageurs, tous de grande puissance (ceux de Vienne à Pesth atteignent une force de 150 chevaux); leur tirant d'eau ne doit pas excéder 1m50. Ils sont à roues et peuvent prendre 800 passagers; leur pont, élargi jusqu'au droit des tambours, reçoit à l'arrière une cabine spacieuse et bien aérée et à l'avant une tente pour les voyageurs de troisième classe. Pour le passage des portes de fer, les bateaux reçoivent des machines de 300 chevaux; ce sont les plus puissants des navires fluviaux. La Compagnie possède des ateliers dans lesquels elle répare et fabrique au besoin son matériel. Les chaudières qu'elle emploie sont d'un système qui lui est particulier et marchent à des pressions de 2,5 à 3 atmosphères. En présence de ce matériel parfaitement combiné et qui donne lieu à des opérations considérables, on ne peut s'empêcher de considérer avec regret l'abandon dans lequel sont tombés nos admirables fleuves, qui fourniraient des instruments de transport d'autant plus précieux que, par le fait de leur concurrence avec les lignes de chemin de fer, ils amèneraient forcément un abaissement de tarifs qui intéresse à si haut point toutes les industries.

Nous ne pouvons passer sous silence la navigation du bas Indus, dans les possessions anglaises des Indes. Depuis longtemps, elle est établie sur une large échelle malgré la rapidité et le peu de profondeur des eaux qui imposent au constructeur de sérieuses difficultés; M. Rennie, de Londres, expose un modèle intéressant des navires affectés à ce service.

La section française nous présente un seul exemple de navigation fluviale, et, bien que se rapportant à des opérations

restreintes, il n'en offre pas moins un sérieux intérêt; nous voulons parler des navires qui font la navigation directe entre Paris et Londres: ils doivent avoir un faible tirant d'eau pour la traversée de la Seine et jouir cependant de qualités nautiques suffisantes pour la Manche; M. Cochot a su affronter ce double problème : le navire l'*Esther*, sorti de ses ateliers de Saint-Denis et semblable à d'autres du même modèle, employés par la Compagnie *Seine-et-Tamise*, fait régulièrement ses voyages de Paris à Londres. Les très-gros temps seuls le forcent à relâcher au Havre, ou à l'embouchure de la Tamise. C'est un navire en fer de 300 tonneaux, à deux hélices mues par une machine de 60 chevaux, à détente et à condensation. La Compagnie *Seine-et-Tamise*, établie depuis une dizaine d'années, transporte les marchandises à plus bas prix et au moins aussi rapidement que le chemin de fer ; ce résultat doit être attribué surtout à l'économie de temps et de main-d'œuvre obtenue par la suppression des chargements et déchargements sur les rives anglaise et française nécessités par la voie de terre ; les négociants trouvent en outre à prendre la voie fluviale, l'avantage que leurs marchandises éprouvent moins de chances d'avarie. Si nous sommes bien informés, d'autres entreprises du même genre seraient en voie de formation.

§ 2. — Machines à vapeur employées dans la marine commerciale.

Les conditions requises par les machines de la marine commerciale sont les suivantes : développement de la force motrice sous le moindre poids et le moindre volume possible, réduction de la dépense de combustible, solidité à toute épreuve des mécanismes, mettant à l'abri des avaries et des chômages.

C'est à la solution de ce problème compliqué que l'on travaille sans relâche. Relativement à la puissance développée dans les cylindres, on a pris l'habitude d'exprimer le résultat obtenu en la comparant à la puissance nominale, et une

machine est réputée d'autant meilleure qu'elle réalise un plus grand nombre de fois cette puissance nominale. Ces comparaisons sont usitées en France et en Angleterre, et comme on est tout naturellement conduit à rapprocher les résultats obtenus dans les deux pays, il importe d'être bien fixé sur les points de départ, qui, n'étant pas les mêmes, pourraient donner lieu à des confusions fâcheuses.

La puissance *nominale*, d'après la règle anglaise, a pour expression le produit de la pression par unité de surface exercée sur le piston, multipliée par la surface de ce piston, multipliée encore par la vitesse de cet organe et divisée par 33,000 (1). Dans cette expression, on prend invariablement, pour pression dans les cylindres, la pression de régime des machines de Watt, c'est-à-dire 7 livres par pouce carré ; quant à la vitesse du piston, elle est prise arbitrairement, d'après des conditions débattues entre le fournisseur et la partie prenante, mais toujours de beaucoup inférieure à celle qui résulterait de l'allure ordinaire de la machine. L'expression française de la puissance nominale est donnée par une formule algébrique qui n'est que la traduction de l'expression anglaise, en admettant implicitement que la pression utile dans les cylindres soit égale à 7 livres, mais en laissant à la vitesse du piston sa valeur réelle ; dès lors on voit comment des machines identiques paraîtront donner, dans les deux pays, des résultats très-différents ; ainsi par exemple, les machines de M. Penn, qui figurent à l'Exposition, sont, d'après la règle anglaise, de 350 chevaux ; or, leur diamètre effectif étant de 1^m60, leur course de 0^m915, et le nombre de tours normal de 90 par minute, leur puissance nominale, d'après la formule française $\left(2 \times \frac{D^2\ C\ N}{0,59}\right)$, serait : $2 \times \frac{(1.60)^2 \times 0.915 \times 90}{0,59} = 712$ chevaux, et en admettant que la puissance indiquée soit, comme on l'affirme, de 2,100 chevaux de 75 kilogrammètres, on voit qu'elle réaliserait *six fois* la puissance nominale évaluée par

(1) Toutes les mesures étant prises en unités anglaises.

la méthode anglaise, tandis qu'elle ne donnerait que *trois fois* cette puissance calculée par la méthode française. Ce mode de comparaison est donc essentiellement vicieux lorsqu'il est transporté d'un pays à l'autre, et, pour le rendre admissible, il faudrait avant tout qu'il y eût entente sur une définition commune de la puissance nominale.

Quoi qu'il en soit, pour arriver au résultat voulu, c'est-à-dire pour développer des puissances considérables à l'aide de mécanismes réduits, il a fallu employer des pressions de plus en plus élevées et des vitesses de pistons de plus en plus grandes. Pour les pressions, on est bientôt arrivé à la limite supérieure de 175 atmosphères que l'on ne saurait dépasser dans les chaudières alimentées à l'eau de mer, à cause de l'impossibilité de prévenir la formation des dépôts calcaires lorsque la température dépasse celle qui correspond à cette pression. Si l'on a quelquefois marché à deux atmosphères effectives, c'est que les chaudières ont alors été alimentées avec de l'eau douce recueillie au moyen de condenseurs à surfaces; mais, même dans ce cas, les chaudières ordinaires supportent mal des tensions aussi élevées, et c'est plutôt dans l'accroissement de la vitesse du piston que l'on a cherché jusqu'à présent l'augmentation de la puissance développée. C'est ainsi que l'on est arrivé progressivement aux vitesses de 2 mètres, $2^{m}40$ et que l'on a même atteint la limite extrême de $2^{m}80$ par seconde. Ce résultat ne peut être obtenu que grâce à une très-grande perfection dans les mécanismes; cependant les organes mobiles ne supportent pas impunément de semblables allures ; les articulations sont exposées à se gripper et le plus souvent on est obligé de les arroser à grande eau pendant toute la marche.

Pour réduire la consommation de combustible, il faut recourir aux grandes détentes, mais ce procédé serait totalement stérile, si l'on ne prévenait en même temps la condensation partielle de la vapeur à l'intérieur des cylindres, au moyen d'enveloppes complètes de vapeur et d'une surchauffe modérée. L'alimentation à l'eau douce dans les machines pourvues

de condenseurs à surface concourt aussi à l'économie de combustible, par la suppression des extractions.

Dès 1862, les mécaniciens anglais et français se sont occupés de la construction des machines marines basées sur ce principe ; depuis lors, un bon nombre d'entre elles ont été mises en service, et l'on a pu se rendre un compte plus exact de ce qui n'était encore qu'à l'état de projets ou de tentatives plus ou moins avancées. Pour obtenir les grandes détentes, on a eu recours aux cylindres combinés dans le système de Woolf; les machines des paquebots à roues de l'océan Pacifique, construits par MM. Randolphe Helder, ainsi que celles des paquebots à hélice du *Royal mail West India Company*, par M. Humphrys, sont les deux entreprises les plus considérables en ce genre ; elles ont fonctionné avec des fortunes diverses qui laissent encore les esprits partagés. Les machines de M. Randolphe, quoique trop compliquées, ont donné de bons résultats et continuent à fonctionner avec succès ; celles de M. Humphrys, dans le système à pilon, très-simples comme mécanisme, ont donné lieu à des mécomptes continuels et paraissent destinées à disparaître du rang auquel elles ont été placées.

Les condenseurs à surface ont occasionné des corrosions de chaudières tout à fait imprévues, que, jusqu'à présent, on n'est parvenu à combattre qu'en alimentant pendant quelque temps avec de l'eau de mer, de manière à recouvrir les parois métalliques d'une légère incrustation. Ce préservatif fait perdre une partie des avantages de l'alimentation à l'eau douce, et, de plus, les condenseurs tubulaires s'encrassent et nécessitent des nettoyages assez pénibles ; néanmoins, on persiste à les employer.

La surchauffe modérée, les enveloppes de vapeur, la condensation par surface, paraissent donc acquises, comme bases du régime actuel des machines marines ; les cylindres combinés dans le système de Woolf conduisant à des mécanismes trop compliqués, tout en ne donnant que des économies de

combustibles douteuses, paraissent avoir perdu la faveur qui leur avait été accordée, dès l'origine, dans l'opinion publique. La véritable manière de faire usage de ce système est celle adoptée par la Marine Impériale dans les machines à trois cylindres, mais, jusqu'à présent, ces machines n'ont pas été employées par la marine commerciale. Au reste, l'Exposition de la classe 66, si complète à tous les autres points de vue, l'est beaucoup moins à l'endroit des machines marines; à part les grands constructeurs de Londres, tels que MM. Penn, Maudslay, Rawenhill, Humphrys, qui exposent des modèles de machines destinées principalement à la marine militaire, les ateliers qui travaillent plus spécialement pour le commerce, comme ceux de MM. Napier, Laird, Caird, Tod Mac Gregor, Randolphe, se sont abstenus d'envoyer les modèles ou même les dessins de leurs machines, qui eussent cependant présenté un vif intérêt. En revanche, les fabricants français, pour lesquels les difficultés de la distance n'existaient qu'à un degré beaucoup moindre, sont plus nombreux et leurs produits permettent de constater les progrès qu'ils ont réalisés dans l'industrie de la grande machinerie.

La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée expose une série de modèles qui donnent un tableau fidèle de ses produits. Laissant de côté les types qui se rapportent à la marine militaire, dont nous n'avons pas à nous occuper ici, nous signalerons le modèle des machines des paquebots de la ligne de l'Indo-Chine, pour la Compagnie des Messageries Impériales. Dans ces appareils, on n'a pas voulu adopter le fonctionnement à outrance; on a conservé aux organes mobiles des vitesses modérées, et on a eu recours aux engrenages pour accélérer le mouvement de l'hélice. Les résultats ont complètement confirmé les prévisions, et ces machines fonctionnent d'une manière tout à fait satisfaisante; c'est ce qui a décidé à conserver le même type pour le magnifique paquebot ou navire de plaisance à hélice, le *Masr*, construit récemment

pour le vice-roi d'Égypte. Au reste, la Compagnie est loin de s'en tenir à ce seul type ; elle sait produire des modèles variés, en rapport avec les conditions spéciales à chaque navire ; ainsi nous avons remarqué les machines de 120 chevaux dans le système à pilon et à condenseurs à surface pour les bateaux-porteurs de la *Compagnie générale de transports maritimes* ; les machines de 60 chevaux des transports à vases pour la *Compagnie de l'isthme de Suez*, celles des remorqueurs à roues qui font partie de l'immense matériel préparé pour l'achèvement du canal, et comprenant en particulier des dragues construites dans un système nouveau, et d'une puissance jusqu'alors inconnue. Ces divers appareils sont exécutés dans les ateliers de machinerie de la *Compagnie des forges et chantiers*, et leur succès provient surtout des bonnes dispositions que leur a données l'habile ingénieur qui dirige ce département.

La *Compagnie des ateliers et chantiers de l'Océan* est formée par la réunion de l'ancienne Compagnie Arman, de Bordeaux, et de la Compagnie Mazeline, du Havre. Elle n'expose aucune machine commerciale, mais nous retrouverons l'occasion d'en parler, lorsque nous aurons à examiner les appareils de la Marine Impériale.

Les *ateliers du Creusot* présentent deux très-belles machines, l'une de 1,000 chevaux, à trois cylindres ; l'autre de 265 chevaux, toutes deux destinées à la marine impériale. Si leur production pour la marine commerciale n'est représentée que par des dessins, elle n'en est pas moins intéressante. Ce sont les machines employées jadis à la navigation du Rhône ; et qui eurent le plus grand succès, jusqu'à ce que ce service fût anéanti par la concurrence des chemins de fer ; les machines de 850 chevaux à balancier et à roues construites pour les premiers paquebots de la Compagnie transatlantique, conçues suivant le type ordinaire de ces machines avec les inconvénients et les avantages qui leur sont propres, et enfin les machines à hélice du

Saint-Laurent, navire qui appartient à la Compagnie transatlantique. Ces derniers sont à engrenage; elles marchent à la vitesse modérée de quarante tours par minute; leur puissance effective est de 3,200 chevaux, et leur poids ne dépasse pas 800 tonneaux; elles impriment au navire des vitesses de 14 nœuds 75 à l'heure.

Nous terminerons l'examen de la section française en citant M. Claparède, de Saint-Denis, et M. Marc Frayssinet, de Marseille, qui exposent des machines à pilon, simples et bien disposées.

Comme nous le disions en commençant, par suite de l'abstention des constructeurs anglais, pour les machines de la marine commerciale, M. Denny, de Dumbarton, et M. Ravenhill, de Londres sont les seuls qui aient exposé des machines de ce genre. Celles de M. Ravenhill, déjà un peu anciennes, appartiennent au célèbre navire le *Connaught ;* elles sont à roues et à cylindres oscillants, suivant le type universellement adopté; elles sont trop connues pour qu'il soit nécessaire d'insister davantage sur leur compte.

La machine de M. Denny, de 400 chevaux nominaux et de 1,800 chevaux effectifs, est dans le système à pilon; les deux cylindres sont supportés par un volumineux condenseur à surface qui occupe la partie médiane de l'appareil, ainsi que par des colonnes de fer forgé. La machine, en général, est suffisamment accessible; cependant, elle ne présente pas toute la simplicité désirable.

Bien que M. Napier n'ait pas exposé les machines du *Pereire*, nous dirons cependant que ce sont des machines à pilon, à action directe et à condenseurs à surface, de la puissance nominale de 1,000 chevaux; leur puissance réalisée aux essais a été de 3,398 chevaux (de 75 kilogrammètres, sur les pistons) à raison de 57 tours par minute, et une vitesse moyenne de piston de $2^{m}25$ par seconde ; les machines complètes pèsent 628 tonneaux, ce qui fait 760 kilogrammes par cheval nominal, ou 223 seulement par cheval effectif. Ces

chiffres sont assez éloquents et montrent combien le régime de ces machines est avantageux; ajoutons encore que, malgré leur allure précipitée, elles n'ont donné lieu à aucune interruption de service.

Nous terminerons en signalant les machines à roues de 60 chevaux, exposées dans la section Suisse, par M. Escher Wys, de Genève; ces appareils, destinés à la navigation fluviale, sont composés de deux cylindres inclinés, attelés directement sur l'arbre de couche; ils fonctionnent dans le système de Woolf avec réservoir intermédiaire; leurs dispositions générales sont bonnes et portent le cachet d'une fabrication soignée; cependant le réservoir intermédiaire, tel qu'il est établi, donne lieu à quelques objections et paraît devoir être perfectionné.

En résumé, on peut dire que, pour les machines marines, les progrès réalisés consistent dans l'emploi des machines à grande vitesse de rotation, avec détentes directes très-étendues, enveloppes complètes de vapeur, surchauffe modérée et condensation par surface. Quant aux cylindres dans le système de Woolf ordinaire, leur emploi s'est peu répandu, tandis que, au contraire, les machines à trois cylindres, avec admission dans celui du milieu et détente dans les deux extrêmes, obtiennent une faveur de plus en plus marquée dans la Marine Impériale de France.

§ 3. — Embarcations à vapeur.

Si les perfectionnements des appareils marins présentent un intérêt capital pour les grandes puissances, elles s'attachent également un intérêt très-vif à la création de petites machines assez légères pour pouvoir être placées sur de véritables embarcations, auxquelles elles donnent des propriétés toutes nouvelles, de nature à rendre des services importants à l'industrie privée aussi bien qu'à la marine militaire.

Le premier canot à vapeur est sorti des ateliers de M. Mazeline; c'est celui du yacht du prince Napoléon. Sur le champ,

l'on comprit quels avantages on pouvait retirer de semblables embarcations. Plusieurs canots de modèles différents ont donc été construits par la Marine Impériale, et, après des essais multipliés, on s'est arrêté, pour le moment, aux types proposés par M. Mangin, ingénieur de la marine. Ces embarcations peuvent faire individuellement à peu près les mêmes services que les embarcations ordinaires, mais, en outre, elles sont susceptibles de donner la remorque à toutes celles qui sont dépourvues de moteurs, et que l'on embarque à bord des navires de l'État au nombre de cinq ou six, leur faire traverser une rade, les amener en un point quelconque de débarquement, en donnant une rapidité et une précision précieuses aux opérations de ce genre, tout en évitant un rude labeur aux équipages.

M. Claparède expose deux embarcations à vapeur d'après les plans de M. Mangin ; elles sont en tôle d'acier, et jouissent d'une solidité remarquable. Leurs machines sont à un seul cylindre et à pilon, pourvues de chaudières qui fonctionnent à la pression de cinq atmosphères, alimentées avec de l'eau douce que l'on doit embarquer à bord en quantité suffisante pour une marche de trois à quatre heures ; elles font marcher une hélice de forme ordinaire à l'allure de 300 tours par minute, et atteignent des vitesses de 7 nœuds et demi à 8 nœuds ; ces vitesses sont considérables pour des embarcations d'aussi faible dimension, et même, pour pouvoir les supporter sans danger sur des mers moyennement agitées, il est nécessaire de recourir à des formes renflées de l'avant, sans lesquelles les lames embarqueraient à bord, et feraient infailliblement couler les embarcations. Cette obligation n'existe pas sur les eaux calmes, ou l'on peut adopter des formes aiguës plus favorables à la marche. Une condition essentielle pour les embarcations à vapeur des navires de guerre, est que leur poids soit assez restreint pour que l'on puisse les hisser sur les porte-manteaux sans trop de difficulté ; celles de M. Mangin sont dans ce cas, et le canot de 8m85 ne pèse pas plus de trois tonneaux.

La marine militaire emploie avantageusement les chaudières du système de M. Belleville; elle en fait déjà plusieurs applications, et notamment sur l'aviso de 40 chevaux, l'*Argus*, et le transport de 150 chevaux, *la Nièvre*; on sait que les avantages de ces appareils sont de supporter les pressions les plus élevées sans aucun danger d'explosion, et de procurer une économie de poids fort importante, représentée d'une manière générale par le poids de l'eau contenue dans une chaudière ordinaire de même puissance; enfin, un dernier avantage qui n'est pas sans intérêt consiste en ce qu'elles entrent en pression en quelques minutes. Un certain nombre des canots de la Marine Impériale sont pourvus de ces chaudières. L'un d'eux fait partie de l'Exposition et fonctionne journellement sur la Seine; on obtient la pression en moins de dix minutes.

La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, de MM. Mazeline et M. Gouin, ont également envoyé à l'Exposition, à la berge du Champ-de-Mars des embarcations à vapeur, toutes à une seule hélice, mais de modèles variés. Celle des Forges et chantiers est un grand canot en bois, de 12 mètres de longueur, avec machine de quatre chevaux; elle est destinée à la Compagnie du canal de Suez; *le Vauban*, embarcation effilée et remarquable par ses qualités de vitesse, provient des ateliers de M. Mazeline : elle ne paraît pas destinée à supporter la grosse mer; enfin le canot en tôle de M. Gouin, doit être considérée comme une embarcation de plaisance.

Les chaloupes à vapeur ont été introduites plus tardivement qu'en France dans la marine anglaise. Le système, que l'Amirauté paraît avoir adopté, est celui des hélices jumelles, mises en mouvement chacune par une petite machine à deux cylindres verticaux, fixée contre les parois latérales des chaudières placées au centre de l'embarcation. Cette disposition dégage l'espace dans le sens de la longueur, mais elle exige une largeur absolue assez grande pour laisser libre circulation entre le bord

et la machine. Les hélices jumelles donnent la faculté de tourner presque sur place, ce qui peut être utile dans certains cas et surtout pour la navigation des rivières; mais la complication du mécanisme qui en est la conséquence ne paraît pas rachetée par cet avantage secondaire.

Trois machines pour chaloupes, de la même puissance, sont exposées par MM. Penn, Maudslay et Rennie. La machine de M. Penn se fait remarquer, comme tout ce qui sort des ateliers de cet habile constructeur, par une exécution irréprochable; elle développe une puissance de 36 à 40 chevaux de 75 kilogrammètres sur les pistons, et son poids ne dépasse pas trois tonneaux, tout compris : chaudière et eau, mécanisme proprement dit et hélices. Placée sur une chaloupe de 14 mètres, elle lui imprime des vitesses de huit nœuds. La machine de M. Maudslay présente la plus grande analogie avec la précédente; les mécanismes sont disposés de la même manière et également bien exécutés, quoique le fini des pièces soit poussé un peu moins loin. La machine de M. Rennie, de la même puissance que les deux premières, en diffère par la réduction du nombre des cylindres à un seul par hélice, et par l'addition d'un condenseur à surface pour chaque machine; le but proposé est facile à saisir, c'est de supprimer l'approvisionnement d'eau douce nécessaire pour marcher à haute pression et d'augmenter d'autant le charbon embarqué, mais le condenseur est accompagné d'une pompe réfrigérante qui complique le mécanisme, et, bien que la machine de M. Rennie soit exécutée avec un soin extrême, nous pensons qu'elle gagnerait encore à la suppression du condenseur et de ses accessoires.

La *Société Cockerill*, à Seraing (Belgique) a envoyé une belle embarcation à vapeur pourvue d'un propulseur hydraulique, dans le système de M. Ruthven, consistant en une sorte de turbine ou pompe centrifuge tournant autour d'un axe vertical, de manière à aspirer l'eau par son centre et vers le fond du navire, pour la rejeter à droite et à gauche, le long

des parois latérales et un peu au-dessous du plan de flottaison. Les premiers essais de M. Ruthven remontent à 1839; mais ce n'est guère qu'en 1863 qu'il est parvenu à obtenir des résultats de quelque importance sur le *Nautilus*, construit à Londres pour son compte, et peu après sur le *Waterwitch*, canonnière à vapeur, commandée par l'Amirauté. Mais bien que les essais de ces bâtiments aient permis de constater une marche régulière, ils ont aussi accusé des utilisations très-faibles, et il est douteux que ce propulseur donne jamais un meilleur emploi de la force motrice que les hélices ordinaires. Le défaut capital du système consiste dans la section peu développée de la veine de sortie, ce qui oblige à lui communiquer une vitesse de beaucoup supérieure à celle du navire et entraîne forcément des pertes de travail. Par contre, les avantages qui militent en sa faveur sont l'absence de tout organe propulseur faisant saillie à l'extérieur et exposé à être brisé par le choc des corps étrangers, ou engagé par quelque bout de filin, etc. Une autre propriété du propulseur hydraulique est de permettre de changer le sens du mouvement, en renversant la direction du jet de sortie, soit des deux côtés à la fois, si l'on veut reculer, soit en le dirigeant tout entier d'un seul bord, ou encore sur l'avant, d'un côté et, sur l'arrière, de l'autre, pour faire tourner le navire. Ce sont ces propriétés spéciales qui avaient engagé l'usine de Seraing à étudier ce genre de propulseur pour en faire application à des navires cuirassés de l'espèce des monitors destinés à la Russie; mais ce dernier projet n'a pas reçu d'exécution et l'on s'en est tenu à l'embarcation d'étude que nous avons examinée ; elle est remarquable par la finesse de ses formes, et nous avons pu constater l'extrême facilité avec laquelle se manœuvre son propulseur pour les changements de direction.

Bien que les embarcations à vapeur aient déjà été employées utilement par notre industrie maritime, elle est encore bien loin d'en avoir tiré tout le parti désirable, et, jusqu'à présent, c'est en Suède seulement qu'il en a été fait application sur une

large échelle; elles sont employées en grand nombre, à Stockholm, à faire le service des voyageurs sur les canaux intérieurs de la ville ou sur les lacs d'eau douce qui l'avoisinent. Celles que l'on voit sur la berge du Champ-de-Mars sortent des ateliers de Lindholem, à Gottembourg; ce sont de grandes chaloupes construites en tôle d'acier, mesurant 14m60 sur 3m30, et 1 mètre de tirant d'eau à l'arrière. La machine est composée d'un seul cylindre à pilon, fixé à l'arrière de la chaudière qui occupe elle-même la partie centrale de l'embarcation, en laissant, de chaque côté, de larges espaces pour la circulation; elles peuvent recevoir soixante-quinze voyageurs. Nous nous plaisons à citer ces belles embarcations comme parfaitement adaptées au service auquel elles sont employées, et nous ne doutons pas que notre industrie n'y trouve un modèle à imiter pour la navigation à l'embouchure des fleuves, dans les endroits où l'impossibilité d'établir des ponts nécessite une batellerie très-active.

En résumé, les embarcations à vapeur ne font que prendre naissance, et il y a tout lieu de prévoir qu'elles prendront une part active à la navigation de nos fleuves et de nos rades et que l'industrie de la pêche y trouvera de puissants auxiliaires.

CHAPITRE II.

MATÉRIEL DE GRÉEMENT, APPARAUX DE MANŒUVRES, PROTECTION ET ENTRETIEN DES CARÈNES, DOCKS FLOTTANTS, SCAPHANDRES.

---

§ 1. — Installations relatives au gréement et à la manœuvre.

L'intérêt des armateurs doit tendre à diminuer les frais de navigation, en réduisant l'effectif des équipages, sans toutefois compromettre la sécurité de la manœuvre; c'est à quoi l'on

peut parvenir en améliorant les dispositions du gréement et, en général, tout le matériel d'armement. Pour les navires à voiles, une des manœuvres les plus pénibles est celle de la réduction de la voilure par le mauvais temps. Dans les expositions précédentes, on a vu figurer les appareils à prendre les ris du capitaine Cunningham, de la marine anglaise, qui ont joui d'une certaine faveur, bien que leur complication trop grande ait empêché leur emploi de se généraliser. Les Américains ont trouvé une solution moins complète, il est vrai, mais plus pratique du problème, en fractionnant les huniers ordinaires en deux parties distinctes supportées par deux vergues dont la plus basse est fixe, et la plus élevée seule est mobile le long du mât; elle est amenée, chaque fois qu'il y a lieu de prendre un ris; le ris pris, elle est de nouveau hissée à la nouvelle position résultant de la réduction de toile. Bien que cette installation soit adoptée sur un grand nombre de navires, on lui reproche de nécessiter une deuxième vergue avec balancine, bras, etc., en un mot, tout un gréement, ce qui constitue une certaine complication et une augmentation de dépense.

M. Fremont, capitaine au long cours, au Havre, a exposé un système de son invention qui permet d'arriver au même résultat avec beaucoup plus de simplicité; il consiste en un espar de faible dimension, n'excédant pas en grosseur un boute-hors de basse vergue, assujetti par de simples amarrages, le long de la dernière bande de ris de la voile et maintenu en position par des balanciers fixes. Il remplit le même office que la basse vergue des huniers en deux parties; mais avec cette différence que son installation est plus simple et peut être faite avec les ressources de l'inventaire du bord. M. Fremont, ayant généreusement livré son système au domaine public, les armateurs de la place du Havre et le plus grand nombre des navires de toutes nations qui fréquentent ce port, se sont empressés de l'adopter et les témoignages sont unanimes en sa faveur.

Une autre amélioration importante, introduite dans le grée-

ment, consiste dans l'emploi des *cordages en fil de fer* pour les manœuvres fixes, constituant l'ensemble désigné sous le nom de basse carène des navires. Un moindre volume, une durée presque illimitée, tels sont les avantages capitaux qu'ils présentent aux armateurs; aussi sont-ils devenus d'un emploi général. La Compagnie des Ardoisières d'Angers s'est livrée spécialement à ce genre de fabrication, et ses cordages en fil de fer zingués sont tout à fait satisfaisants. La corderie de MM. Besnard et Genest, bien que continuant la fabrication du filin en chanvre, présente également des spécimens très-satisfaisants de cordages métalliques. Quant à la corderie du Havre de MM. Merlié, Lefebvre et Cie, elle continue à livrer de très-beaux produits en chanvre; les cordages en fil de fer commencent seulement à entrer dans sa fabrication; mais il n'est pas douteux qu'elle ne continue à soutenir dans cette production son ancienne et excellente réputation.

Pendant longtemps, notre marine marchande n'employait les chaînes-câbles de fortes dimensions que dans des cas trop peu nombreux pour alimenter une fabrique spéciale, et elle était obligée de recourir aux approvisionnements de la Marine impériale, dont les chaînes d'une qualité hors ligne ne lui étaient jamais refusées; mais la construction des navires de fort tonnage devenant chaque jour plus fréquente, soit pour les lignes de paquebots, soit pour les navires de guerre commandés à nos chantiers par les nations étrangères, les ateliers de M. Doremieux, à Saint-Amand, qui produisaient depuis longtemps les chaînes de faibles calibres, ont étendu leur fabrication aux plus forts échantillons. Pour être plus sûrs de leurs résultats, ils ont adopté les procédés en usage à l'usine impériale de Chaussade; leurs chaînes sont éprouvées à la même charge que celles de la marine militaire, et les spécimens qu'ils exposent donnent la preuve que, à l'avenir, la marine marchande pourra s'adresser avec confiance, à l'industrie particulière pour les chaînes des plus fortes dimentions.

Une innovation importante dans le gréement consiste dans l'emploi, de plus en plus répandu, des mâtures en tôle presque exclusivement employées aujourd'hui sur les grands navires anglais ; on y trouve les avantages d'une plus grande durée et d'un prix un peu moindre. Avec les tôles d'acier, on obtient même une réduction sensible sur le poids. Dans la vitrine de M. Laird, on remarque un système particulier imaginé par le capitaine Coles, dans la tenue des bas mâts, pour satisfaire à des besoins militaires. Les nombreux haubans répartis de chaque côté du navire sont remplacés par un seul arc-boutant oblique de chaque bord; ces deux arcs-boutants, construits en tôle comme les mâts eux-mêmes, sont rivés avec ceux-ci à proximité du ton, et se rattachent par le pied à la muraille du navire; ils présentent certains avantages pour l'orientement des voiles, mais leur principal objet est de dégager le champ de tir de l'artillerie à tourelles. Dans la marine du commerce, on préfère toujours répartir les points d'attache de la mâture sur une étendue assez considérable de la muraille pour ne faire supporter en chaque point que des efforts modérés.

Sur les navires à vapeur, il était naturel de recourir à la source de puissance mécanique qui existe à bord pour manœuvrer les cabestans, guindeaux, grues de chargement, et, en général, pour toutes les opérations de force. Aussi y fait-on un grand usage de petites machines à vapeur, adaptées aux divers engins que nous venons d'énumérer. Les constructeurs écossais se font remarquer par leur spécialité dans ce genre d'installations, et il est à regretter qu'ils ne soient pas plus largement représentés dans la classe 66. Il n'existe dans la section anglaise qu'un seul cabestan à vapeur, d'une construction assez grossière, exposé par M. Mathew Paul, de Dumbarton; en revanche, nous y trouvons les guindeaux de M. James Taylor et Cie, de Birkenhead, dont le type est devenu en quelque sorte classique. Dans la section française, nous trouvons également un bon modèle de guindeau à vapeur, par M. Corradi, de Marseille : l'arbre moteur est mis en

mouvement par deux petits cylindres oscillants dans lesquels la distribution de vapeur est faite par les tourillons; un robinet à quatre fins, placé à la jonction des conduites d'admission et d'évacuation de vapeur, permet de renverser le mouvement avec une grande facilité. Les mécanismes sont de la plus grande simplicité, qualité importante pour les appareils du même genre. Citons encore, dans la même section, le guindeau en fonte de MM. Malo, de Dunkerque, et le cabestan, bien connu, de M. David, du Havre.

Les guindeaux à bras sont presque tous pourvus de couronnes à empreintes pour la manœuvre des câbles-chaînes, analogues à celles employées depuis longtemps pour la marine impériale, mais avec cette différence que l'on s'est attaché à leur donner la faculté d'engrener avec plusieurs chaînes de points différents; c'est le système de M. Harfield, de Londres, qui présente les meilleures dispositions.

A mesure que la grandeur des navires augmente, il devient nécessaire de disposer de moyens mécaniques plus puissants pour manœuvrer leur gouvernail; dans la marine commerciale, l'appareil ordinaire des roues et des drosses a généralement été remplacé par des systèmes moins encombrants. Le plus répandu consiste en deux bielles articulées sur une petite barre transversale très-courte, fixée sur la mèche du gouvernail et mises en mouvement, à leur extrémité opposée, par une vis, sur laquelle elles peuvent avoir un mouvement longitudinal; nous trouvons des spécimens de cet appareil, exécutés par M. Napier, pour les paquebots transatlantiques; par M. Denny, de Dumbarton et par M. Artige en France. Un autre appareil consiste en deux demi-écrous engrenant avec deux vis de sens contraire, qui se croisent sur un même noyau cylindrique : les écrous, animés d'un mouvement longitudinal, réagissent dans des rainures transversales qui tiennent lieu de barre; ce système, d'origine américaine, paraît jouir d'une certaine faveur; il figure dans les expositions de M. Huxham (Angleterre) et de M. Westerman (Italie); on peut lui objecter

que, en raison du peu de longueur du bras de levier, les pressions supportées par les diverses parties en contact sont considérables et donnent lieu à une usure rapide.

Les dispositions qui tendent à réduire la résistance que le gouvernail oppose à la barre, sans nuire à son efficacité, semblent bien préférables ; c'est à quoi on arrive par l'emploi des gouvernails équilibrés, se mouvant autour d'un axe situé à peu près au tiers de la largeur totale. Ce système commence à être usité dans les marines militaires d'Angleterre et de France, mais son installation est délicate et ne semble pas inspirer confiance aux marins des navires du commerce, qui se contentent de gouvernails ordinaires à faible surface, au détriment de la rapidité des évolutions, dont ils ne semblent pas se préoccuper.

Pour terminer ce qui est relatif à la manœuvre, il nous reste à parler de quelques instruments perfectionnés pour les signaux de nuit ou pour la transmission des ordres, du banc de quart au timonier, ou à la machine, et d'autres appareils destinés à donner la mesure de la vitesse du navire. Parmi les premiers, nous citerons les appareils de M. Colomb, de Londres, destinés à transmettre les signaux de nuit par des éclipses de durée variable, de la lumière du fanal ordinaire : la durée de ces éclipses, le nombre et l'ordre de chacune d'elles sont réglés d'après la notation du télégraphe de Morse, et représentent des nombres correspondant aux phrases du code des signaux. Le mouvement de l'écran qui produit les éclipses, est obtenu à l'aide d'un cylindre, analogue à celui des orgues mécaniques, qu'il suffit de faire tourner pour transmettre un ordre ou un signal quelconque, sans aucune erreur possible de la part de l'opérateur.

Nous citerons encore comme très-utiles, bien qu'avec un degré d'importance moindre, les appareils pour transmissions d'ordre, de M. Gisborne : le premier est basé sur un système de transmission électrique, analogue à un télégraphe à cadran de grande dimension ; il correspond avec la timonerie et avec

la machine et communique tous les ordres nécessaires à la manœuvre ; mais il paraît coûteux et il est à craindre en outre, que son fonctionnement ne s'altère, faute d'un entretien suffisant, toujours difficile à bord ; le deuxième est basé sur la transmission presque instantanée des pressions variables communiquées à de l'air renfermé dans des réservoirs métalliques complétement fermés et mis en communication par un simple tube, qui peut d'ailleurs recevoir une grande longueur ; en comprimant l'un de ces réservoirs placé au point de départ, par exemple, on produit sur le réservoir opposé, une dilatation correspondante et ses déformations sont traduites par un mécanisme intermédiaire, en un mouvement d'aiguille qui correspond à tout le système ordinaire d'ordres ou de signaux. Ces appareils sont encore à leur début, mais ils paraissent beaucoup plus simples que tous les autres et, par cela même, appelés à recevoir de nombreuses applications.

Le seul instrument propre à mesurer la vitesse, digne d'une mention particulière, est le loch autographe de M. Amfouso, de la section française ; il consiste en un loch à ailettes, du système Massey, avec cette particularité, que chaque révolution de l'instrument établit un circuit électrique provenant de l'intérieur du navire et qui transmet le mouvement à un compteur à cadran également placé à l'intérieur du bâtiment. Les transmissions électriques se font par la ligne de loch elle-même et l'on est affranchi de toutes les difficultés d'installation que les lochs mécaniques ont présenté jusqu'à présent.

Nous avons encore à signaler trois instruments qui, bien que n'appartenant pas à proprement parler au matériel de gréement ou d'armement, ne peuvent trouver place dans une autre partie de ce compte rendu ; ce sont les instruments propres à mesurer les mouvements de roulis des navires, et un sextant destiné à faciliter les observations de nuit. L'un des premiers est dû à M. l'amiral Paris, auquel son jeune fils a servi de collaborateur ; il représente graphiquement les mouvements de roulis du navire, à l'aide d'une courbe tracée par

n pinceau fixé au sommet de l'axe d'une toupie, immobile dans l'espace. Ce pinceau se meut sur une bande de papier déroulé d'un mouvement uniforme et participant aux oscillations du navire; il y trace une ligne sinueuse, qui représente le roulis, à la condition que l'axe de la toupie soit réellement fixe dans l'espace, condition qui, malheureusement, n'est pas remplie d'une manière rigoureuse.

M. Augustin Normand, fils du célèbre constructeur, et qui, de même que son père, s'est voué à la carrière des constructions navales, présente un deuxième instrument affecté à la même destination mais basé sur un principe différent; il se sert d'un petit pendule de faible masse, suspendu par une crapaudine fixée au centre d'un vase sphérique, et baigné de toute part dans un liquide, remplissant ce vase comme dans la boussole connue sous le nom de *liquid compass*. Lorsque le navire oscille, le liquide, en vertu de son inertie, reste fixe dans son enveloppe qui seule participe au mouvement extérieur, et le petit pendule rendu solidaire avec ce liquide par le frottement d'appendices ou ailettes très-développées, participe à cette immobilité; le mouvement apparent de sa extrémité, par rapport au navire, peut être observé sur u calotte sphérique en cristal, réservée au sommet du vase pourvue de graduations qui permettent de lire les oscillati du tangage aussi bien que celles du roulis.

Le sextant pour observations de nuit est dû à M. Lau officier de la marine impériale, commandant le paquet *Saint-Laurent*; son système, de la plus grande simp consiste à remplacer le miroir, plan ordinaire sur lec reçoit l'image d'une étoile, par un miroir cylindric donne à cette image une forme linéaire beaucoup plus percevoir et à faire concorder avec l'horizon qu'u point.

§ 2. — Protection et entretien des carènes.

La protection des carènes en fer continue à préc

vement les constructeurs, et plusieurs tentatives importantes, pour arriver à ce résultat, figurent dans les sections anglaise et française. Le problème à résoudre consiste à recouvrir les parois extérieures des navires en fer d'un doublage métallique jouissant des mêmes propriétés que le doublage ordinaire en cuivre des navires en bois, c'est-à-dire de se décomposer lentement au contact de l'eau de mer en donnant lieu à des produits dépourvus de toute adhérence, de telle sorte que les végétations marines ou les mollusques, ne puissent y trouver aucun point d'attache. Jusqu'à présent ces conditions sont les seules qui assurent la propreté des carènes ; on a donc renoncé aux peintures à base toxique dont l'inefficacité est maintenant reconnue, et tous les efforts ont tendu à recouvrir les carènes d'un véritable doublage métallique. M. Daft, de Londres, propose un doublage en feuilles de zinc d'une certaine épaisseur (0^m0015 à 0^m002) ; il admet que, par l'effet de son contact avec le fer du navire, sa décomposition sera suffisamment activée pour que l'oxyde de zinc formé cesse d'être adhérent et se détache d'une manière continue. Ces propriétés ne sont encore confirmées par aucune expérience concluante, et en outre, les moyens de fixer ce doublage présentent de sérieuses difficultés; dans le système de M. Daft, le bordé doit être à franc bord, mais avec cette particularité que les différentes rivures de tôle, au lieu d'être en contact le long de leurs arêtes comme dans les contructions ordinaires, sont maintenues écartées les unes des autres d'environ 25 millimètres; des tringles de bois de teak comprimé sont introduites dans les rainures ainsi formées et reçoivent le clouage des feuilles de zinc. Le système est sujet à de nombreuses critiques; le mode de jonction du bordé en tôle, quoi qu'en dise l'auteur, est moins solide et plus coûteux que celui des doubles clins ordinaires; les feuilles de zinc tenues seulement par des lignes de clous aussi écartées que les lignes de rivets, ne sont pas suffisamment assujetties ; enfin la durée du zinc,

malgré sa grande épaisseur, doit être limitée, et néanmoins ses effets restent fort problématiques.

Dans la section française M. Roux, officier de la marine impériale, a cherché à faire usage d'un doublage en cuivre avec interposition d'un enduit isolant à base de caoutchouc. Ses procédés étudiés avec un soin scrupuleux mettent presque forcément à l'abri des malfaçons ; ils peuvent être appliqués même sur des tôles minces, et l'on peut admettre qu'ils préviennent complétement le contact des deux métaux dans les conditions où ce contact présente quelque danger ; mais, quoi qu'il fasse, M. Roux ne peut éviter les effets résultant de la déchirure accidentelle de quelque partie du doublage en cuivre, qui mettrait à nu une certaine étendue de la surface du bordé en fer ; dans ce cas, le fer serait rongé avec la rapidité que tout le monde connaît et l'existence même du navire serait d'autant plus compromise que son bordé serait plus mince. M. Roux ne donne donc pas encore la solution du problème de la protection des navires en fer ; mais son système est avantageusement employé à revêtir les plaques de cuirasses de nos navires de guerre à coques en bois. On sait, en effet, que malgré les précautions prises pour isoler le doublage en cuivre de la carène des plaques en fer de la cuirasse, il s'établit toujours quelques communications ayant pour double inconvénient de provoquer l'oxydation du fer et la formation rapide de dépôts marins sur le cuivre.

L'application du procédé de M. Roux sur plusieurs navires de la marine impériale a permis de constater ses bons résultats ; il reste sujet, il est vrai, à l'objection relative aux déchirures partielles et aux conséquences qui en découlent, mais il est à remarquer que pour les épaisses plaques de cuirasse elles sont de peu d'importance, surtout si une surveillance attentive permet d'arrêter le mal aussitôt qu'il a pris naissance.

MM. Weil et Barnabé exposent, tous deux, dans la section française, des pièces de fer cuivrées par des procédés nou-

veaux et qui paraissent appelées à rendré de très-importants services à l'industrie maritime. Ils obtiennent le dépôt galvanique de cuivre sur le fer sans interposition d'aucun corps étranger. Dans ces conditions, le cuivre adhère sur le fer comme par une véritable soudure à froid, au lieu de former, comme par les procédés ordinaires, une pellicule simplement juxtaposée susceptible d'être enlevée sous l'action du moindre effort extérieur. Le spécimen le plus intéressant du cuivrage de M. Barnabé est une plaque de cuirasse pour navire, complétement enveloppée d'une couche de cuivre métallique, et montrant ainsi quel parti on peut tirer de son système pour la marine; il opère en employant d'abord un bain alcalin au cyanure de potassium au moyen duquel il obtient, à l'aide d'un couple constitué par un élément zinc introduit dans ce bain, un mince dépôt de cuivre sur le fer; il augmente ensuite l'épaisseur de la couche première par les procédés galvanoplastiques ordinaires dans un bain acide. M. Weil se sert de bains neutralisés par des sels de soude moins chers que le cyanure de potassium ; il obtient des dépôts parfaitement adhérents et d'une régularité irréprochable, ce qui l'a porté principalement à rechercher les applications artistiques de son procédé, mais il n'en serait pas moins applicable aux besoins de la marine. Au reste le cuivrage direct du fer ou de l'acier par les bains alcalins n'est pas nouveau; il a déjà été employé comme intermédiaire pour la dorure de petits objets en acier, mais il se présente actuellement sur des proportions qui promettent des applications importantes.

Aucun des moyens proposés pour la protection des carènes en fer par application directe d'un doublage en cuivre, n'étant encore acceptés par l'industrie privée, un certain nombre d'armateurs préfèrent recourir à des navires mixtes avec la membrure et toute la charpente intérieure en fer et le bordé extérieur en bois, assujetti à la membrure à l'aide de boulons en laiton, en sorte que rien ne s'oppose à l'emploi du doublage ordinaire en cuivre; c'est surtout dans

les chantiers de l'Angleterre que ce genre de construction a pris un sérieux développement pour un certain tonnage; il assure une solidité au moins égale à celle des navires en bois, les capacités de la cale sont plus spacieuses, et, enfin, on n'est pas assujetti à des nettoyages fréquents comme pour les navires en fer. Les navires fer et bois sont admis actuellement au classement de la Compagnie du Lloyd, et M. Cornish, de cette Compagnie, a fait figurer dans la section anglaise une très-belle série de dessins représentant avec de grands détails les assemblages, les échantillons et la configuration des pièces, approuvées, pour assurer aux navires, de différentes catégories, construits dans ce système, la cote la plus élevée.

Bien que les navires en bois jouent un rôle secondaire dans la marine actuelle, tout ce qui tend à les améliorer et surtout à prolonger leur durée mérite d'être pris en sérieuse considération ; c'est à ce titre que nous signalons les appareils pour la carbonisation des bois, imaginés par M. de Lapparent, directeur des constructions navales. L'idée de carboniser la surface des bois pour les mettre à l'abri de la pourriture n'est pas nouvelle ; de tout temps les cultivateurs ont légèrement brûlé l'extrémité des pieux ou des échalas destinés à être enfoncés en terre, afin de leur assurer une plus longue durée ; il y a cent ans environ la carbonisation a été appliquée en Angleterre à toutes les surfaces de contact de la charpente d'un vaisseau de guerre le *King William* dont l'existence aurait acquis une durée exceptionnelle ; mais les procédés alors en usage étaient tout à fait primitifs, d'une application difficile et même dangereuse, c'est ce qui mit obstacle à la généralisation du système. M. de Lapparent, reprenant l'ancienne idée, s'est attaché à la rendre tout à fait pratique et il y est parvenu en employant la flamme d'un chalumeau à gaz d'éclairage, activée par une soufflerie énergique ; son appareil est très-portatif et permet d'atteindre, sans danger, toute les parties de la charpente même lorsque la membrure est montée sur la quille ; aussi la carbonisation est-elle d'une application générale dans

les chantiers de l'État; la dépense qu'elle occasionne est tout à fait minime et il y aurait intérêt à la répandre dans les chantiers du commerce.

§ 3. — Docks flottants, scaphandres.

L'emploi de plus en plus généralisé des navires en fer pour les navigations lointaines et l'obligation de nettoyer fréquemment leurs carènes, ont nécessité l'établissement de docks de diverses espèces sur tous les points du globe. Les systèmes adoptés varient suivant les localités et l'importance des capitaux que l'on peut consacrer à leurs constructions. Les bassins en maçonnerie sont toujours préférés par les administrations puissantes, les cales de halage conviennent également pour les opérations importantes ; il en a été construit dans ces dernières années pour les gouvernements d'Égypte et d'Italie sur lesquelles les navires cuirassés de la plus forte dimension peuvent être halés avec de puissantes presses hydrauliques, sorties des ateliers des Forges et chantiers de la Méditerranée. Enfin les docks flottants conviennent pour les localités éloignées où les ressources nécessaires aux travaux de maçonnerie font défaut, ou dans lesquel la nature du fond présenterait des difficultés particulières. La disposition de ces appareils est devenue en quelque sorte classique; ils consistent en de grands caissons en tôle, consolidés par une charpente intérieure en cornières; leurs agencements n'ont pas varié depuis 1862. Nous retrouvons dans la section anglaise le modèle du dock flottant de Carthagène par M. Rennie ainsi que l'appareil élévatoire de M. Clarke, trop connus, l'un et l'autre, pour qu'il soit nécessaire de faire autre chose que les mentionner. Dans la section française figure la cale de halage de M. Labat; on sait qu'elle fonctionne parallèlement au rivage et qu'elle peut être fractionnée en plusieurs parties indépendantes, mises en rapport avec la grandeur de chaque navire; le modèle exposé par M. Labat rappelle celui de l'Exposition de Londres, mais il présente plusieurs

perfectionnements de mécanisme suggérés par l'expérience; il en existe deux sur la rivière de Bordeaux, une troisième est en construction pour les établissements japonnais de Yokohama.

Au nombre des appareils propres à servir à l'entretien et au nettoyage des carènes il faut compter les scaphandres qui sont appelés à rendre de très-grands services, toutes les fois que l'on n'a pas les moyens de mettre à sec la carène des navires. M. Denayrouse-Rouquayrol a apporté à ces appareils des perfectionnements de la plus grande importance en régularisant, à l'aide d'un réservoir intermédiaire et à soupape, que porte le plongeur, le fonctionnement de la pompe à compression d'air, et en mettant ainsi les hommes à l'abri des secousses internes correspondant à chaque coup de piston et produisant sur les organes respiratoires une réaction pénible; un autre perfectionnement non moins important de ces appareils est celui qui permet au plongeur de remonter à la surface de l'eau par sa propre action et indépendamment des hommes placés à l'extérieur. Grâce à ces dispositions nouvelles, les plongeurs supportent sans fatigue un séjour prolongé sous l'eau et y acquièrent une sécurité très-profitable aux travaux qu'ils exécutent. Dans un autre ordre d'idées l'appareil de sauvetage de M. Galibert, également de la section française, est propre à rendre des services à la marine dans tous les cas où l'on opère des fumigations dans les navires infestés par la fièvre jaune, ou lorsqu'il y a lieu de produire une atmosphère d'acide sulfureux pour purifier un navire envahi par les insectes tropicaux.

En résumé les installations des navires du commerce, sans présenter de grandes nouveautés, ont reçu des perfectionnements de détail, consistant principalement dans l'emploi de moteurs à vapeur pour exécuter les manœuvres de force, dans celui des cordages en fil de fer pour le gréement, et dans les applications de la galvanoplastie et de l'électricité à plusieurs usages importants. La France est convenablement représentée

dans cette partie de l'exposition maritime, mais c'est assurément l'Angleterre qui y prend la plus large part, et nos armateurs ne devront pas perdre de vue que c'est en apportant le plus grand soin à perfectionner le matériel d'armement qu'ils parviendront à réduire les frais de navigation.

SECTION III

MARINE MILITAIRE

PAR M. A. DE FRÉMINVILLE.

CHAPITRE I.

TYPES ET MODÈLES DE NAVIRES EMPLOYÉS DANS LA MARINE MILITAIRE POUR LA NAVIGATION MARITIME.

Tout l'intérêt de l'exposition maritime, considérée au poi[illegible] de vue militaire, se concentre sur les nombreux spécimens d[illegible] navires cuirassés, réunis dans la classe 66. A l'Exposition Uni[illegible] verselle de 1862, l'Angleterre était la seule puissance qui eû[illegible] livré à l'examen du public l'état auquel était parvenu la flott[illegible] de combat ; en 1867, elle n'est plus seule à suivre ce procéd[illegible] libéral : la marine impériale de France est représentée p[illegible] une série de modèles exécutés avec un soin minutieux, et r[illegible] produisant aussi bien dans leur ensemble que dans leurs moi[illegible] dres détails les types actuels de la flotte cuirassée, ainsi q[illegible] ceux des transports ou avisos qui constituent son complém[illegible] indispensable. Les autres puissances maritimes font égaleme[illegible] connaître leur matériel naval, soit directement par les expos[illegible] tions des gouvernements eux-mêmes, soit par celles des ét[illegible] blissements privés qui ont concouru à sa construction. Se[illegible] le gouvernement des États-Unis d'Amérique s'est abstenu [illegible] prendre part à cet important concours, auquel il aurait cepe[illegible]

. apporté des éléments d'un si haut intérêt ; néanmoins on ɔuve dans l'exposition du gouvernement russe quelques- des types américains les plus importants, en sorte que, le fait, aucun des systèmes actuellement en usage ne fait ut à l'Exposition de 1867.

a création des navires cuirassés est un fait tellement ré- . que son origine est encore présente à tous les esprits ; endant en rendant compte de notre grand concours inter- onal, il ne sera pas hors de propos d'établir, en quelques s, la part qui revient à chacun dans cette œuvre considé- e. L'idée d'entourer les navires d'une enveloppe protectrice nature à les mettre à l'abri des projectiles, de même que la part des idées qui se rattachent à quelque objet d'une im- tance capitale, n'est pas nouvelle ; sans en rechercher les miers vestiges, nous nous contenterons de rappeler qu'en 0, Fulton construisit une espèce de batterie ou fort flottant tiné à la défense de New-York et dont les murailles en bois ient une épaisseur suffisante pour être à l'épreuve du bou- Mais ce navire était condamné à rester toujours à l'ancre s un endroit déterminé, et son utilité se trouvait ainsi res- ée entre des limites bien étroites. D'autres projets d'une ; récente ont été conçus dans un ordre d'idées plus ncé. Celui du général Paixhans, inventeur des projectiles qui tent son nom, mérite une mention particulière ; il consis- à recouvrir les navires en bois de plaques de tôle d'une isseur suffisante pour les mettre à l'abri de l'effet des obus, déterminant leur rupture ; mais il n'envisageait pas la pos- lité de s'opposer à la pénétration des projectiles pleins.

a production réelle des navires blindés, à l'abri du boulet, reçu sa première réalisation effective qu'en 1854 à l'occa- la guerre de Crimée ; à cette époque, et d'après les in- ations de l'Empereur des Français, le département de marine mit la question à l'étude et produisit les *batteries rassées*, du type *Dévastation* et *Tonnante*, qui furent l'œu- de deux ingénieurs de la marine, MM. Garnier, alors in-

specteur général du génie maritime, et Guieysse. Ces navires, destinés à un but spécial, n'étaient pas aptes à la navigation proprement dite, et, bien que pourvus de machines à hélice, ils n'étaient destinés qu'à se mouvoir dans les rades, ou le long des côtes, pour se rendre, avec les vitesses modérées de 6 à 7 nœuds tout au plus, sur les points où ils devaient opérer. Des batteries semblables furent construites à la même époque par l'amirauté anglaise, d'après les plans communiqués par le gouvernement français, ce furent : le *Meteor Trusty*, etc., en tout semblables aux nôtres et jouissant des mêmes propriétés. Elles étaient revêtues, de bout en bout, dans toute l'étendue de la batterie et jusqu'à 1m80 au-dessous de la flottaison, de plaques de fer de 11 centimètres d'épaisseur, suffisantes pour résister aux projectiles sphériques du calibre de 30, employés alors d'une manière à peu près exclusive pour l'armement des navires et des batteries de côtes. Engagées à petites distances, devant les forts de Kinburn, l'efficacité de leur cuirasse fut démontrée de la manière la plus évidente, et l'on peut dire que, dès lors, le problème du cuirassement des navires était résolu ; mais la solution était loin d'être complète, et ce n'est qu'en 1858 que M. Dupuy de Lôme, ingénieur français, déjà célèbre par la création des vaisseaux à vapeur du type *Napoléon*, donna à la question du cuirassement des navires toute l'importance qu'elle comporte, en produisant une *frégate cuirassée* aussi invulnérable que les batteries flottantes, tout en conservant les qualités essentielles des navires de guerre, c'est-à-dire, grande vitesse à la vapeur, facilité d'évolutions, faculté d'atteindre les points les plus éloignés du globe, et surtout grande puissance militaire représentée par une artillerie du plus fort calibre. La marine cuirassée, aussi bien à ses premiers débuts que dans son expression la plus complète, est donc une œuvre entièrement française ; quant à l'Angleterre, il semble que ce n'est qu'à regret qu'elle se soit décidée à abandonner son ancienne flotte de navires en bois, dont elle pouvait être fière à si juste titre ; c'est en 1859 seulement que l'amirauté

ordonna la mise en chantier d'une première frégate cuirassée, *le Warrior*, alors que la frégate française *la Gloire* était sur le point d'être lancée. En Amérique, l'idée première des batteries flottantes de Fulton devait aussi être continuée et perfectionnée ; dès 1840, l'ingénieur Stevens proposait des batteries flottantes revêtues d'épaisses plaques de fer et destinées à la défense des ports de commerce. Mais, soit que ses projets fussent encore trop incomplets, soit pour tout autre cause, c'est en 1854 seulement qu'un navire de son système fut mis en chantier à Hoboken ; d'ailleurs, si M. Stevens avait rencontré de graves difficultés à faire prévaloir son système, il n'en rencontra pas moins à le faire exécuter : son navire n'a pas encore été mis à l'eau et son achèvement paraît même fort problématique. Ce n'est que par suite des nécessités de la guerre de la sécession que les deux partis belligérants ont été amenés à recourir aux nouveaux instruments de combat maritime : les Etats du Sud improvisèrent des navires cuirassés dans le système européen ; les États du Nord empruntant les idées émises dès 1855 par le capitaine Copper Coles, de la marine britannique, produisirent les *monitors à tourelles* du célèbre ingénieur Ericsson. Les autres nations maritimes, telles que la Russie, l'Espagne, l'Italie, etc., n'ont pris aucune initiative réelle dans la création des types de la marine cuirassée et se sont contentées d'adopter les modèles les plus en faveur en France, en Angleterre ou en Amérique ; ce sont donc les productions de ces trois pays qui mériteront seules de notre part une attention particulière.

§ 1. — Navires français.

Ce qui frappe à première vue en examinant les modèles des bâtiments cuirassés français, c'est le petit nombre des types qu'ils représentent, l'analogie des formes, l'uniformité des dispositions générales de chacun d'eux, enfin la parfaite homogénéité de l'ensemble qu'ils constituent ; on comprend que tous

malgré sa grande épaisseur, doit être limitée, et néanmoins ses effets restent fort problématiques.

Dans la section française M. Roux, officier de la marine impériale, a cherché à faire usage d'un doublage en cuivre avec interposition d'un enduit isolant à base de caoutchouc. Ses procédés étudiés avec un soin scrupuleux mettent presque forcément à l'abri des malfaçons ; ils peuvent être appliqués même sur des tôles minces, et l'on peut admettre qu'ils préviennent complétement le contact des deux métaux dans les conditions où ce contact présente quelque danger ; mais, quoi qu'il fasse, M. Roux ne peut éviter les effets résultant de la déchirure accidentelle de quelque partie du doublage en cuivre, qui mettrait à nu une certaine étendue de la surface du bordé en fer ; dans ce cas, le fer serait rongé avec la rapidité que tout le monde connaît et l'existence même du navire serait d'autant plus compromise que son bordé serait plus mince. M. Roux ne donne donc pas encore la solution du problème de la protection des navires en fer ; mais son système est avantageusement employé à revêtir les plaques de cuirasses de nos navires de guerre à coques en bois. On sait, en effet, que malgré les précautions prises pour isoler le doublage en cuivre de la carène des plaques en fer de la cuirasse, il s'établit toujours quelques communications ayant pour double inconvénient de provoquer l'oxydation du fer et la formation rapide de dépôts marins sur le cuivre.

L'application du procédé de M. Roux sur plusieurs navires de la marine impériale a permis de constater ses bons résultats; il reste sujet, il est vrai, à l'objection relative aux déchirures partielles et aux conséquences qui en découlent, mais il est à remarquer que pour les épaisses plaques de cuirasse elles sont de peu d'importance, surtout si une surveillance attentive permet d'arrêter le mal aussitôt qu'il a pris naissance.

MM. Weil et Barnabé exposent, tous deux, dans la section française, des pièces de fer cuivrées par des procédés nou-

veaux et qui paraissent appelées à rendré de très-importants services à l'industrie maritime. Ils obtiennent le dépôt galvanique de cuivre sur le fer sans interposition d'aucun corps étranger. Dans ces conditions, le cuivre adhère sur le fer comme par une véritable soudure à froid, au lieu de former, comme par les procédés ordinaires, une pellicule simplement juxtaposée susceptible d'être enlevée sous l'action du moindre effort extérieur. Le spécimen le plus intéressant du cuivrage de M. Barnabé est une plaque de cuirasse pour navire, complétement enveloppée d'une couche de cuivre métallique, et montrant ainsi quel parti on peut tirer de son système pour la marine; il opère en employant d'abord un bain alcalin au cyanure de potassium au moyen duquel il obtient, à l'aide d'un couple constitué par un élément zinc introduit dans ce bain, un mince dépôt de cuivre sur le fer ; il augmente ensuite l'épaisseur de la couche première par les procédés galvanoplastiques ordinaires dans un bain acide. M. Weil se sert de bains neutralisés par des sels de soude moins chers que le cyanure de potassium ; il obtient des dépôts parfaitement adhérents et d'une régularité irréprochable, ce qui l'a porté principalement à rechercher les applications artistiques de son procédé, mais il n'en serait pas moins applicable aux besoins de la marine. Au reste le cuivrage direct du fer ou de l'acier par les bains alcalins n'est pas nouveau ; il a déjà été employé comme intermédiaire pour la dorure de petits objets en acier, mais il se présente actuellement sur des proportions qui promettent des applications importantes.

Aucun des moyens proposés pour la protection des carènes en fer par application directe d'un doublage en cuivre, n'étant encore acceptés par l'industrie privée, un certain nombre d'armateurs préfèrent recourir à des navires mixtes avec la membrure et toute la charpente intérieure en fer et le bordé extérieur en bois, assujetti à la membrure à l'aide de boulons en laiton, en sorte que rien ne s'oppose à l'emploi du doublage ordinaire en cuivre; c'est surtout dans

les chantiers de l'Angleterre que ce genre de construction a pris un sérieux développement pour un certain tonnage; il assure une solidité au moins égale à celle des navires en bois, les capacités de la cale sont plus spacieuses, et, enfin, on n'est pas assujetti à des nettoyages fréquents comme pour les navires en fer. Les navires fer et bois sont admis actuellement au classement de la Compagnie du Lloyd, et M. Cornish, de cette Compagnie, a fait figurer dans la section anglaise une très-belle série de dessins représentant avec de grands détails les assemblages, les échantillons et la configuration des pièces, approuvées, pour assurer aux navires, de différentes catégories, construits dans ce système, la cote la plus élevée.

Bien que les navires en bois jouent un rôle secondaire dans la marine actuelle, tout ce qui tend à les améliorer et surtout à prolonger leur durée mérite d'être pris en sérieuse considération ; c'est à ce titre que nous signalons les appareils pour la carbonisation des bois, imaginés par M. de Lapparent, directeur des constructions navales. L'idée de carboniser la surface des bois pour les mettre à l'abri de la pourriture n'est pas nouvelle ; de tout temps les cultivateurs ont légèrement brûlé l'extrémité des pieux ou des échalas destinés à être enfoncés en terre, afin de leur assurer une plus longue durée ; il y a cent ans environ la carbonisation a été appliquée en Angleterre à toutes les surfaces de contact de la charpente d'un vaisseau de guerre le *King William* dont l'existence aurait acquis une durée exceptionnelle ; mais les procédés alors en usage étaient tout à fait primitifs, d'une application difficile et même dangereuse, c'est ce qui mit obstacle à la généralisation du système. M. de Lapparent, reprenant l'ancienne idée, s'est attaché à la rendre tout à fait pratique et il y est parvenu en employant la flamme d'un chalumeau à gaz d'éclairage, activée par une soufflerie énergique ; son appareil est très-portatif et permet d'atteindre, sans danger, toute les parties de la charpente même lorsque la membrure est montée sur la quille ; aussi la carbonisation est-elle d'une application générale dans

les chantiers de l'État; la dépense qu'elle occasionne est tout à fait minime et il y aurait intérêt à la répandre dans les chantiers du commerce.

§ 3. — Docks flottants, scaphandres.

L'emploi de plus en plus généralisé des navires en fer pour les navigations lointaines et l'obligation de nettoyer fréquemment leurs carènes, ont nécessité l'établissement de docks de diverses espèces sur tous les points du globe. Les systèmes adoptés varient suivant les localités et l'importance des capitaux que l'on peut consacrer à leurs constructions. Les bassins en maçonnerie sont toujours préférés par les administrations puissantes, les cales de halage conviennent également pour les opérations importantes ; il en a été construit dans ces dernières années pour les gouvernements d'Égypte et d'Italie sur lesquelles les navires cuirassés de la plus forte dimension peuvent être halés avec de puissantes presses hydrauliques, sorties des ateliers des Forges et chantiers de la Méditerranée. Enfin les docks flottants conviennent pour les localités éloignées où les ressources nécessaires aux travaux de maçonnerie font défaut, ou dans lesquel la nature du fond présenterait des difficultés particulières. La disposition de ces appareils est devenue en quelque sorte classique; ils consistent en de grands caissons en tôle, consolidés par une charpente intérieure en cornières; leurs agencements n'ont pas varié depuis 1862. Nous retrouvons dans la section anglaise le modèle du dock flottant de Carthagène par M. Rennie ainsi que l'appareil élévatoire de M. Clarke, trop connus, l'un et l'autre, pour qu'il soit nécessaire de faire autre chose que les mentionner. Dans la section française figure la cale de halage de M. Labat; on sait qu'elle fonctionne parallèlement au rivage et qu'elle peut être fractionnée en plusieurs parties indépendantes, mises en rapport avec la grandeur de chaque navire ; le modèle exposé par M. Labat rappelle celui de l'Exposition de Londres, mais il présente plusieurs

perfectionnements de mécanisme suggérés par l'expérience; il en existe deux sur la rivière de Bordeaux, une troisième est en construction pour les établissements japonnais de Yokohama.

Au nombre des appareils propres à servir à l'entretien et au nettoyage des carènes il faut compter les scaphandres qui sont appelés à rendre de très-grands services, toutes les fois que l'on n'a pas les moyens de mettre à sec la carène des navires. M. Denayrouse-Rouquayrol a apporté à ces appareils des perfectionnements de la plus grande importance en régularisant, à l'aide d'un réservoir intermédiaire et à soupape, que porte le plongeur, le fonctionnement de la pompe à compression d'air, et en mettant ainsi les hommes à l'abri des secousses internes correspondant à chaque coup de piston et produisant sur les organes respiratoires une réaction pénible; un autre perfectionnement non moins important de ces appareils est celui qui permet au plongeur de remonter à la surface de l'eau par sa propre action et indépendamment des hommes placés à l'extérieur. Grâce à ces dispositions nouvelles, les plongeurs supportent sans fatigue un séjour prolongé sous l'eau et y acquièrent une sécurité très-profitable aux travaux qu'ils exécutent. Dans un autre ordre d'idées l'appareil de sauvetage de M. Galibert, également de la section française, est propre à rendre des services à la marine dans tous les cas où l'on opère des fumigations dans les navires infestés par la fièvre jaune, ou lorsqu'il y a lieu de produire une atmosphère d'acide sulfureux pour purifier un navire envahi par les insectes tropicaux.

En résumé les installations des navires du commerce, sans présenter de grandes nouveautés, ont reçu des perfectionnements de détail, consistant principalement dans l'emploi de moteurs à vapeur pour exécuter les manœuvres de force, dans celui des cordages en fil de fer pour le gréement, et dans les applications de la galvanoplastie et de l'électricité à plusieurs usages importants. La France est convenablement représentée

dans cette partie de l'exposition maritime, mais c'est assurément l'Angleterre qui y prend la plus large part, et nos armateurs ne devront pas perdre de vue que c'est en apportant le plus grand soin à perfectionner le matériel d'armement qu'ils parviendront à réduire les frais de navigation.

SECTION III

MARINE MILITAIRE

PAR M. A. DE FRÉMINVILLE.

CHAPITRE I.

TYPES ET MODÈLES DE NAVIRES EMPLOYÉS DANS LA MARINE MILITAIRE POUR LA NAVIGATION MARITIME.

Tout l'intérêt de l'exposition maritime, considérée au point de vue militaire, se concentre sur les nombreux spécimens de navires cuirassés, réunis dans la classe 66. A l'Exposition Universelle de 1862, l'Angleterre était la seule puissance qui eût livré à l'examen du public l'état auquel était parvenu la flotte de combat ; en 1867, elle n'est plus seule à suivre ce procédé libéral : la marine impériale de France est représentée par une série de modèles exécutés avec un soin minutieux, et reproduisant aussi bien dans leur ensemble que dans leurs moindres détails les types actuels de la flotte cuirassée, ainsi que ceux des transports ou avisos qui constituent son complément indispensable. Les autres puissances maritimes font également connaître leur matériel naval, soit directement par les expositions des gouvernements eux-mêmes, soit par celles des établissements privés qui ont concouru à sa construction. Seul, le gouvernement des États-Unis d'Amérique s'est abstenu de prendre part à cet important concours, auquel il aurait cepen-

dant apporté des éléments d'un si haut intérêt ; néanmoins on retrouve dans l'exposition du gouvernement russe quelques-uns des types américains les plus importants, en sorte que, par le fait, aucun des systèmes actuellement en usage ne fait défaut à l'Exposition de 1867.

La création des navires cuirassés est un fait tellement récent que son origine est encore présente à tous les esprits ; cependant en rendant compte de notre grand concours international, il ne sera pas hors de propos d'établir, en quelques mots, la part qui revient à chacun dans cette œuvre considérable. L'idée d'entourer les navires d'une enveloppe protectrice de nature à les mettre à l'abri des projectiles, de même que la plupart des idées qui se rattachent à quelque objet d'une importance capitale, n'est pas nouvelle ; sans en rechercher les premiers vestiges, nous nous contenterons de rappeler qu'en 1810, Fulton construisit une espèce de batterie ou fort flottant destiné à la défense de New-York et dont les murailles en bois avaient une épaisseur suffisante pour être à l'épreuve du boulet. Mais ce navire était condamné à rester toujours à l'ancre dans un endroit déterminé, et son utilité se trouvait ainsi resserrée entre des limites bien étroites. D'autres projets d'une date récente ont été conçus dans un ordre d'idées plus avancé. Celui du général Paixhans, inventeur des projectiles qui portent son nom, mérite une mention particulière ; il consistait à recouvrir les navires en bois de plaques de tôle d'une épaisseur suffisante pour les mettre à l'abri de l'effet des obus, en déterminant leur rupture ; mais il n'envisageait pas la possibilité de s'opposer à la pénétration des projectiles pleins.

La production réelle des navires blindés, à l'abri du boulet, n'a reçu sa première réalisation effective qu'en 1854 à l'occade la guerre de Crimée ; à cette époque, et d'après les indications de l'Empereur des Français, le département de la marine mit la question à l'étude et produisit les *batteries cuirassées*, du type *Dévastation* et *Tonnante*, qui furent l'œuvre de deux ingénieurs de la marine, MM. Garnier, alors in-

specteur général du génie maritime, et Guieysse. Ces navires, destinés à un but spécial, n'étaient pas aptes à la navigation proprement dite, et, bien que pourvus de machines à hélice, ils n'étaient destinés qu'à se mouvoir dans les rades, ou le long des côtes, pour se rendre, avec les vitesses modérées de 6 à 7 nœuds tout au plus, sur les points où ils devaient opérer. Des batteries semblables furent construites à la même époque par l'amirauté anglaise, d'après les plans communiqués par le gouvernement français, ce furent : le *Meteor Trusty*, etc., en tout semblables aux nôtres et jouissant des mêmes propriétés. Elles étaient revêtues, de bout en bout, dans toute l'étendue de la batterie et jusqu'à 1m80 au-dessous de la flottaison, de plaques de fer de 11 centimètres d'épaisseur, suffisantes pour résister aux projectiles sphériques du calibre de 30, employés alors d'une manière à peu près exclusive pour l'armement des navires et des batteries de côtes. Engagées à petites distances, devant les forts de Kinburn, l'efficacité de leur cuirasse fut démontrée de la manière la plus évidente, et l'on peut dire que, dès lors, le problème du cuirassement des navires était résolu ; mais la solution était loin d'être complète, et ce n'est qu'en 1858 que M. Dupuy de Lôme, ingénieur français, déjà célèbre par la création des vaisseaux à vapeur du type *Napoléon*, donna à la question du cuirassement des navires toute l'importance qu'elle comporte, en produisant une *frégate cuirassée* aussi invulnérable que les batteries flottantes, tout en conservant les qualités essentielles des navires de guerre, c'est-à-dire, grande vitesse à la vapeur, facilité d'évolutions, faculté d'atteindre les points les plus éloignés du globe, et surtout grande puissance militaire représentée par une artillerie du plus fort calibre. La marine cuirassée, aussi bien à ses premiers débuts que dans son expression la plus complète, est donc une œuvre entièrement française ; quant à l'Angleterre, il semble que ce n'est qu'à regret qu'elle se soit décidée à abandonner son ancienne flotte de navires en bois, dont elle pouvait être fière à si juste titre ; c'est en 1859 seulement que l'amirauté

ordonna la mise en chantier d'une première frégate cuirassée, *le Warrior*, alors que la frégate française *la Gloire* était sur le point d'être lancée. En Amérique, l'idée première des batteries flottantes de Fulton devait aussi être continuée et perfectionnée ; dès 1840, l'ingénieur Stevens proposait des batteries flottantes revêtues d'épaisses plaques de fer et destinées à la défense des ports de commerce. Mais, soit que ses projets fussent encore trop incomplets, soit pour tout autre cause, c'est en 1854 seulement qu'un navire de son système fut mis en chantier à Hoboken ; d'ailleurs, si M. Stevens avait rencontré de graves difficultés à faire prévaloir son système, il n'en rencontra pas moins à le faire exécuter : son navire n'a pas encore été mis à l'eau et son achèvement paraît même fort problématique. Ce n'est que par suite des nécessités de la guerre de la sécession que les deux partis belligérants ont été amenés à recourir aux nouveaux instruments de combat maritime : les États du Sud improvisèrent des navires cuirassés dans le système européen ; les États du Nord empruntant les idées émises dès 1855 par le capitaine Copper Coles, de la marine britannique, produisirent les *monitors à tourelles* du célèbre ingénieur Ericsson. Les autres nations maritimes, telles que la Russie, l'Espagne, l'Italie, etc., n'ont pris aucune initiative réelle dans la création des types de la marine cuirassée et se sont contentées d'adopter les modèles les plus en faveur en France, en Angleterre ou en Amérique ; ce sont donc les productions de ces trois pays qui mériteront seules de notre part une attention particulière.

§ 1. — Navires français.

Ce qui frappe à première vue en examinant les modèles des bâtiments cuirassés français, c'est le petit nombre des types qu'ils représentent, l'analogie des formes, l'uniformité des dispositions générales de chacun d'eux, enfin la parfaite homogénéité de l'ensemble qu'ils constituent ; on comprend que tous

ces navires jouissent de propriétés analogues, qu'aucun d'eux ne doit être entaché d'une infériorité de nature à le rendre une cause d'embarras pour d'autres plus parfaits, et que, engagés dans une opération commune, ils doivent tous concourir efficacement à son succès; c'est là une qualité essentielle des navires destinés à combattre en escadre, et l'on peut dire que ceux qui composent la flotte française la possèdent au plus haut degré. Cet heureux résultat doit être attribué à ce qu'ils sortent tous des mains d'un même auteur, qui a suivi un système parfaitement coordonné et dont la marche, sûre et éclairée, est parvenue à éviter les essais infructueux qui eussent compromis l'ensemble, en y introduisant des éléments hétérogènes.

Les navires cuirassés proprement dits se réduisent aux types suivants :

La Gloire, frégate de	800	chevaux.
La Flandre, frégate de	900	—
Le Solferino, vaisseau cuirassé de	900	—
Le Marengo, frégate à spardeck de	1,000	—
L'Alma, corvette de	800	—

A ces éléments principaux, il faut ajouter comme annexes ou auxiliaires les gardes-côtes du type *Bélier* et les *batteries cuirassées* destinées spécialement à la défense des rades.

La frégate *la Gloire* peut être considérée comme déduite du vaisseau *le Napoléon*, dans lequel on aurait supprimé la batterie supérieure ainsi que les canons qu'elle renfermait, pour consacrer les poids devenus disponibles, par cette opération, à l'établissement de la cuirasse de la batterie conservée; les formes de la carène, le tirant d'eau et le déplacement sont donc à très-peu près les mêmes que pour le vaisseau *le Napoléon*. La cuirasse règne de l'avant à l'arrière depuis le pont de gaillard jusqu'à 1m80 environ en contre-bas de la flottaison; son épaisseur est de 11 centimètres dans la plus grande partie de son étendue et atteint 12 centimètres dans le voisinage de la flottaison; ses dimensions principales sont les suivantes :

Longueur de la flottaison en charge	77m89
Largeur au fort	17 00
Tirant d'eau moyen en charge	7 83
Déplacement	5,719t

Ses machines ont une puissance nominale de 800 chevaux et une puissance effective de 3,200 ; elles impriment au navire une vitesse de 13 nœuds 5; son armement se composait primitivement de 34 bouches à feu en batterie et d'une pièce de fort calibre sur les gaillards pour le tir en chasse et en retraite.

La mise en service de la frégate *la Gloire* eut pour résultat de dissiper les doutes que quelques esprits conservaient encore, et de démontrer que les navires cuirassés étaient parfaitement susceptibles de tenir la mer dans toutes les circonstances de navigation. Cependant on doit reconnaître que les mouvements de roulis de cette frégate avaient une amplitude et une vivacité fatigantes, et que, pour conserver à la cuirasse toute sa puissance protectrice, on avait été obligé de sacrifier jusqu'à un certain point le confort et l'aération des logements du faux pont. Ces imperfections, qui n'avaient d'ailleurs qu'une importance secondaire, furent évitées dans les frégates du type *Flandre*, qui suivirent celles du type *Gloire;* par une heureuse disposition des poids intérieurs, les roulis ont été ramenés aux conditions habituelles ; les chambres de faux pont ont été mieux aérées et éclairées, en même temps l'épaisseur de la cuirasse a été portée à 15 centimètres, la puissance nominale des machines à 900 chevaux et la vitesse à 14 nœuds 84. Les dimensions principales de ces nouvelles frégates diffèrent peu de celles des précédentes ; elles sont :

Longueur	80m00
Largeur	17 00
Tirant d'eau moyen	7 84
Déplacement	5,772t

Le Magenta, construit peu de temps après *la Gloire*, est conçu à peu près dans le même ordre d'idées, mais avec une puissance militaire beaucoup plus considérable. Ce navire est

pourvu de deux batteries superposées, il constitue, par le fait, un véritable *vaisseau cuirassé* dont la batterie supérieure domine le pont des gaillards des frégates ordinaires, et peut ainsi les attaquer par la partie la plus vulnérable. Il est vrai que si l'artillerie du *Magenta* eût occupé la totalité de sa longueur, la cuirasse nécessaire pour la protéger eût absorbé la majeure partie du poids que le navire était capable de transporter; on aurait pu obtenir un navire invulnérable, mais on n'aurait pu lui donner ni vitesse ni artillerie. Pour éviter cette difficulté, on s'est borné à cuirasser le navire de bout en bout, dans la partie vitale, à la hauteur de la flottaison, en restreignant le cuirassement des batteries à la région centrale qui est seule armée de bouches à feu; les extrémités dépourvues de cuirasse ne reçoivent pas d'artillerie et sont destinées à être évacuées pendant le combat; on a eu soin d'ailleurs de les séparer de la partie centrale des batteries, au moyen de cloisons transversales blindées, de telle sorte que, si quelque projectile venait à y pénétrer, il n'y produirait que des désordres locaux qui ne sauraient compromettre ou paralyser l'élément militaire du navire.

Considéré au point de vue de ses formes extérieures, *le Magenta* présente une particularité nouvelle d'une grande importance : l'étrave au lieu d'être droite, comme dans *la Gloire* et *la Flandre*, forme au-dessous de la flottaison une saillie proéminente, recouverte d'une puissante armature en métal et constituant un éperon ou rostre analogue à celui des galères antiques. C'est que, comme ces dernières, *le Magenta* est destiné à attaquer son ennemi par le choc, en employant toute sa masse, pour entamer cette muraille bardée de fer, contre laquelle les projectiles ordinaires restent impuissants. L'attaque par le choc est la conséquence naturelle de l'invulnérabilité des murailles; si l'artillerie est réellement sans action, il ne reste plus qu'à recourir au combat à l'abordage, ou au choc direct: mais l'abordage est difficile à réaliser pour les navires à vapeur: en tout cas, ses résultats sont incertains; l'attaque par le

choc, bien que ne pouvant s'effectuer à coup sûr, paraît plus facile à réaliser que l'abordage, et ses résultats sont bien autrement redoutables. En supposant que *le Magenta* rencontre avec une vitesse de 13 nœuds un adversaire immobile, on calcule que l'effet du choc résultant équivaudrait à celui de 120 boulets du calibre de 30, frappant simultanément en un même point; le résultat ne saurait être douteux; dans de semblables circonstances l'ennemi serait foudroyé. On peut objecter, il est vrai, que le cas d'un adversaire immobile est tout à fait exceptionnel; que celui-ci manœuvrera de manière à éviter le danger, et que le choc ne se produira qu'avec une notable réduction de la vitesse agressive, mais, en supposant celle-ci réduite à 10 et même à 8 nœuds, on trouve encore des chocs équivalents à ceux de 70 ou de 45 boulets de 30, et il n'est pas de muraille de navire, quelle que soit sa force, qui puisse y résister. Au reste les événements de la guerre d'Amérique, et ceux plus récents encore de la dernière guerre d'Italie, ont pleinement justifié ces prévisions théoriques, en démontrant, par les faits, quelle était la puissance irrésistible du choc d'une masse aussi considérable que celle d'un navire.

Les qualités nautiques du *Magenta* ne sont pas moins remarquables que ses qualités militaires, il se comporte parfaitement à la mer, s'élevant facilement à la lame, avec des roulis très-doux et d'une amplitude modérée; sa vitesse à la vapeur est de 13 nœuds 50 à l'heure. Terminons en indiquant ses dimensions principales :

Longueur	86m 65
Largeur	17 28
Tirant d'eau moyen	7 77
Déplacement	6,651t

Pendant que le matériel flottant de la marine subissait une transformation aussi radicale que celle que nous venons d'examiner, l'artillerie ne pouvait rester inactive et de son côté modifiait les bouches à feu, de manière à les doter d'une puissance nouvelle, qui fût en rapport avec la résistance des obstacles

qu'elles étaient appelées à détruire. Mais, dans cette voie, on rencontre des difficultés bien plus grandes que pour la protection des navires. Car, si, dans ce cas, on n'est limité que par des conditions de poids, de grandeur absolue et, finalement de dépense, pour l'artillerie, on se trouve aux prises avec les conditions de la résistance absolue, de la constitution intime des matières employées à la confection des bouches à feu et qu'il n'appartient pas aux puissances humaines de modifier au delà de certaines limites. Néanmoins, des progrès considérables ont été réalisés, et, tandis que, en 1858, on n'employait que des projectiles du calibre de 30, pesant 15 kilogrammes, et, par exception, ceux du calibre de 50, pesant 25 kilogrammes, on est parvenu, à force de savantes études et de travaux incessants, à rendre pratiques des bouches à feu lançant des boulets de 45 kilogrammes, puis de 100 et même de 150. Cette limite, qui a marqué un temps d'arrêt, est même dépassée de beaucoup, et l'on possède actuellement des canons lançant des projectiles de 300 kilogrammes. Cependant ces derniers ne sont pas encore entrés réellement dans le domaine de la pratique; il en est de même des monstrueux canons français ou prussiens dont les projectiles atteignent le poids énorme de 500 kilogrammes, et qui, tout en démontrant jusqu'à quel point l'industrie métallurgique peut répondre aux besoins de l'artillerie moderne, font voir, en même temps, à quels engins colossaux on serait obligé de recourir pour arriver à un maximum de puissance qui, dans tous les cas, ne paraît pas appelé à être employé à bord de nos navires.

Quoi qu'il en soit, les projectiles acquis, dès à présent, d'une manière courante au service de l'artillerie maritime sont ceux de 150 kilogrammes et, par exception peut-être, ceux de 300; il a donc fallu modifier les premiers types des navires cuirassés de manière à les mettre en état de porter les bouches à feu nouvelles et des blindages plus épais que les anciens, devenus insuffisants; les navires qui satisfont à cette double condition sont ceux des types *Marengo* et *Alma*. Les épaisseurs des

plaques de blindage ont été portées à 15, 18, et même 20 centimètres; les poids des bouches à feu ont augmenté en raison de leur puissance, mais la somme des poids que ces navires sont susceptibles de transporter restant la même, on a dû réduire l'armement à un petit nombre de canons et se borner à un cuirassement partiel.

Les dimensions principales et les formes du type *Marengo* diffèrent peu de celles du *Magenta*, dont il importait de conserver les précieuses qualités nautiques.

Longueur	87m 75
Largeur	17 40
Tirant d'eau moyen	8 00
Déplacement	7,172t

L'artillerie est réduite à 8 pièces de gros calibre en batterie, et 4 pièces d'une égale puissance, placées en barbette sur les gaillards, dans des réduits blindés de forme cylindrique. Bien que le navire n'ait qu'une batterie proprement dite, la hauteur qu'elle occupe est la même que celle de la deuxième batterie du *Magenta*, ce qui place son artillerie dans les meilleures conditions de service. Les huit canons de la batterie sont réunis dans un réduit central formé par les murailles du navire et par deux cloisons transversales; les murailles de ce réduit sont cuirassées dans toute leur étendue, tandis que la cuirasse de la coque proprement dite, est bornée à une zone étroite régnant de bout en bout au-dessus et au-dessous de la flottaison, sur la hauteur qu'il est indispensable de protéger. Les extrémités avant et arrière, en dehors du réduit et au-dessus de la zone que nous venons d'indiquer, restent sans protection comme dans le *Magenta;* elles ne renferment pas d'artillerie et sont destinées à être évacuées pendant le combat ; elles fournissent des logements salubres et bien aérés, présentant tout le confortable que l'on peut se procurer à bord des navires de guerre. La charpente de cette partie de navire a été construite en tôle, dans le but de prévenir les dangers d'incendie résultant de l'action des obus sur les murailles en bois.

Un point, auquel on attache une très-grande importance dans la tactique moderne, consiste à disposer des pièces de chasse ou de retraite embrassant tous les points de l'horizon, de manière à permettre de combattre un ennemi dans quelque direction qu'il se présente sans être obligé de dévier de sa route. Dans les premières frégates cuirassées, cette condition a été remplie au moyen de deux pièces de chasse placées sur le pont des gaillards, derrière un masque formant sabord et situées tout à fait à l'avant ; dans cette position, elles peuvent tirer parallèlement à la quille, mais, pour les pointages latéraux, on est dans l'obligation de les ramener aux sabords ordinaires, ce qui exige des manœuvres lentes et pénibles. Les quatre pièces du gaillard du *Marengo*, établies en barbette dans les réduits cylindriques dont il a été parlé plus haut, sont montées sur des plates-formes tournantes mises en mouvement par un mécanisme simple, entièrement caché et protégé par le réduit, ainsi que les hommes employés à le faire fonctionner ; la position assignée aux réduits, sur les côtés du navire, donne au champ de tir une amplitude de près de 180°, tout en laissant le pont des gaillards dégagé et libre pour la manœuvre. La grande élévation de ces bouches à feu au-dessus de l'eau, la faculté que l'on a de pointer en hauteur sans être gêné par les sabords, les rendent très-propres au tir en chasse en même temps qu'au tir plongeant, dirigé à petite distance sur le pont du navire ennemi. *Le Marengo* conserve l'éperon pour le combat par le choc ; des dispositions spéciales ont été prises pour augmenter ses qualités gyratoires, et son gouvernail a été mis complétement à l'abri du boulet ; enfin sa vitesse a été portée à 14 nœuds 50 ; en un mot, rien n'a été négligé pour en faire un instrument de combat aussi perfectionné pour l'attaque que pour la défense.

Les corvettes du type *Alma* présentent le même aspect et les mêmes dispositions générales que les frégates de premier rang type *Marengo* : artillerie de la batterie concentrée dans un réduit central cuirassé sur toute la hauteur, cuirasse ré-

gnant seulement de bout en bout de la flottaison, extrémités des œuvres mortes dépourvues de blindage et construites en tôle, artillerie des gaillards dans le système à barbette, consistant en quatre bouches à feu sur plates-formes tournantes, placées dans des réduits cuirassés de forme cylindrique, et enfin, étrave pourvue d'un éperon proéminent pour le combat par le choc. Elles ne diffèrent du *Marengo* que par leurs dimensions réduites, appropriées au but spécial auquel elles sont destinées. Ces dimensions sont les suivantes :

Longueur	70m 10
Largeur	14 00
Tirant d'eau moyen	5 96
Déplacement	3,400t

Elles seront pourvues de machines de 450 chevaux qui doivent leur communiquer une vitesse de 12 nœuds 50; l'épaisseur de la cuirasse est de 15 centimètres. Ces corvettes moins puissamment armées, moins efficacement protégés que les types précédents ne sont pas destinées à entrer en ligne avec les nouveaux navires de première classe; elles sont appelées à jouer dans la flotte actuelle un rôle analogue à celui des frégates de l'ancienne flotte à voiles, qui servaient d'éclaireurs aux escadres et, en tout cas, présentaient une force suffisante pour être employées isolément à des missions lointaines, sans être d'un entretien aussi onéreux que des vaisseaux qui, d'ailleurs, étaient loin de remplir toutes les conditions voulues pour ce genre de service. Considérées à ce point de vue, les corvettes du type *Alma* conduisent sûrement au but proposé, et, bien que d'une force militaire inférieure aux nouvelles frégates de première classe, elles sont néanmoins en état de lutter avec avantage contre les frégates cuirassées de la première création et viennent ainsi ajouter un appoint important à l'ensemble de la flotte.

Les navires que nous venons d'examiner sont les seuls qui soient destinés à tenir la mer et à concourir à des expéditions

lointaines; mais, pour la défense des côtes, il a été imaginé un type tout particulier dont l'aspect étrange appelle l'attention et provoque l'examen ; nous voulons parler du garde-côte *le Bélier*. Ce navire très-ras sur l'eau, complétement dépourvu de mâture, recouvert à la partie supérieure par une sorte de carapace à surfaces arrondies qui remplace le pont ordinaire, est terminé à l'avant par un éperon redoutable ; il porte en outre, dans une tourelle tournante, deux bouches à feu de fort calibre. La muraille blindée de bout en bout à la hauteur de la flottaison, avec des plaques de 22 centimètres d'épaisseur, la tourelle, également cuirassée, le mettent à l'abri des projectiles de l'ennemi ; les formes arrondies des œuvres mortes rendent l'abordage impossible ; au point de vue défensif, il est donc pourvu de la manière la plus complète ; quant à ses moyens d'agression, ils résident principalement dans sa masse elle-même. *Le Bélier* est destiné à se précipiter dans une mêlée générale et à attaquer son ennemi par le choc ; nous avons déjà dit que les navires de première classe sont destinés à employer ce genre de combat, mais il ne faut pas se dissimuler que, entre deux adversaires d'égale force, l'abordage direct par le travers se réalisera difficilement; la manœuvre étant prévue, on cherchera à l'éviter ; le choc aura lieu très-obliquement, ou même on se rasera à contrebord en ne se faisant que des avaries d'une importance secondaire. *Le Bélier* pourvu de deux hélices jumelles, doué de qualités gyratoires exceptionnelles, doit déjouer les manœuvres les plus habiles des grands navires ; disparaissant au milieu de la fumée du combat, sans aucune mâture qui signale sa présence, il pourra choisir son adversaire et l'atteindre presque à coup sûr pendant que celui-ci aura à répondre à d'autres ennemis l'attaquant par les moyens ordinaires.

Les dimensions du *Bélier* sont les suivantes :

Longueur	66m 00
Largeur	26 05
Tirant d'eau moyen	5 40
Déplacement	3,456t

Les machines sont de 500 chevaux nominaux et la vitesse de 12 nœuds.

Tous les navires que nous venons d'examiner sont à coques en bois ; c'est le mode de construction qui a prévalu en France pour les navires actuels, contrairement à l'opinion prédominante en Angleterre et chez la plupart des nations étrangères, où la grande majorité des navires cuirassés ont été construits en fer. Les partisans des constructions en fer font valoir la solidité et la durée plus grande que ce système assure aux navires ; mais à côté de ces avantages incontestables, il faut tenir compte de l'excès de résistance à la marche que les carènes en fer présentent toujours relativement aux carènes revêtues de doublages en cuivre, excès qui se traduit par une moindre vitesse réalisée pour une même puissance de machine, ou, ce qui revient au même, par la nécessité de développer une puissance mécanique plus considérable pour obtenir une même vitesse. C'est là, en tout état de cause, un élément d'infériorité inhérent aux carènes en fer ; mais son importance s'accroît singulièrement, lorsque, après quelques mois de séjour à la mer, la carène se recouvre de dépôts marins qui font perdre au meilleur navire toutes ses qualités de marche. Ce défaut radical est inévitable, et le seul moyen d'y porter remède consiste à faire entrer le navire au bassin, à des époques plus ou moins rapprochées, tous les six mois environ, pour nettoyer la carène, la repeindre et la remettre autant que possible dans l'état primitif. De semblables opérations occasionnent des dépenses et des pertes de temps qui pèsent lourdement au bilan des navires en fer ; en outre, pour la marine militaire, on n'est pas toujours en mesure de les exécuter au moment opportun, et l'on peut se trouver obligé de mettre en service des navires sales et dépourvus de la vitesse que l'on s'était efforcé d'obtenir au prix des plus grands sacrifices.

Les carènes en bois doublées en cuivre sont exemptes de ce défaut ; sans être complétement à l'abri des dépôts marins, elles se salissent beaucoup moins et sont beaucoup plus faciles

à nettoyer que les carènes en fer, en sorte qu'elles conservent en général la supériorité de marche qui leur appartient dès l'origine. Il est vrai cependant que le contact de la cuirasse en fer modifie notablement le régime ordinaire du doublage en cuivre et que ce dernier serait exposé à la formation de dépôts, quelquefois aussi considérables que ceux des navires en fer. On parvient à résoudre cette difficulté en prolongeant le doublage en cuivre par-dessus la cuirasse, soit par le procédé Roux, soit par celui de M. Barnabé, dont nous avons donné la description dans la première section, chapitre 2, de ce compte rendu. Un autre inconvénient des navires en fer, non moins grave que celui que nous venons de signaler, consiste dans le peu de résistance que leurs murailles opposent au choc. Il est vrai que les seules parties non cuirassées pour lesquelles le choc soit réellement redoutable, se trouvent au-dessous de l'eau et sont par là même, à l'abri du boulet. Mais ce genre de projectiles n'est pas le seul que les navires aient à redouter; les torpilles ou mines sous-marines, qui s'attaquent aux œuvres vives, aux fonds mêmes des navires, sont, dès à présent, au nombre des engins de guerre; l'éperon attaque également la carène au-dessous de la cuirasse, et une muraille en tôle, fût-elle à double paroi, n'oppose qu'une résistance insignifiante à une masse aussi puissante que celle d'un navire. Il n'en est pas de même des murailles en bois; avec une forte membrure à mailles pleines, compacte, et solidaire dans toutes ses parties, soutenue par des barrots de pont d'une force exceptionnelle, on obtient une puissance de résistance de beaucoup supérieure à celle de la muraille en fer; on ne peut affirmer sans doute qu'elle résistera complétement au choc d'un bélier, à l'explosion d'une torpille, mais il n'est pas douteux que les ravages produits par ces engins destructeurs n'y soient beaucoup moindres que dans une construction en tôle dont la solidité réside surtout dans des assemblages multipliés et délicats. Tels sont les motifs qui ont fait donner la préférence aux constructions en bois pour le plus grand nombre de nos navi-

res cuirassés ; au reste, il en existe également un certain nombre construits en fer, qui permettent d'apprécier autrement que par des raisonnements plus ou moins spécieux, les avantages et les inconvénients des deux systèmes.

Tels sont les navires les plus importants de la flotte cuirassée de notre marine ; les développements, trop longs peut-être que nous avons donnés à leur description ne nous permettent pas de nous arrêter aux batteries flottantes, dont le dispositif est resté analogue à celui des batteries de la guerre de Crimée, mais nous consacrerons quelques lignes au navire sous-marin *le Plongeur* de MM. Bourgeois, capitaine de vaisseau, et Brun, ingénieur de la marine : ce bâtiment représente l'essai le plus important qui ait été fait dans la voie de la navigation sous-marine et bien que ses résultats n'aient pas été définitifs, ils ne présentent pas moins un sérieux intérêt.

Le Plongeur est un véritable navire, ses dimensions sont les suivantes :

Longueur	42m 50
Largeur	5 95
Déplacement	429t

Il est pourvu d'une machine à hélice, marchant au moyen d'air comprimé, emmagasiné dans des réservoirs métalliques à la pression trente atmosphères ; cet air, après avoir servi au fonctionnement de la machine, renouvelle l'atmosphère respirable à l'intérieur du bateau, et s'échappe finalement à l'extérieur. Des manomètres très-sensibles indiquent la profondeur à laquelle on est immergé, profondeur que l'on doit régler à volonté, en introduisant ou en expulsant certaines quantités d'eau d'un réservoir disposé à cet effet, et en modifiant ainsi, dans le sens convenable, les conditions d'équilibre. L'avant du plongeur est terminé par une longue tige métallique, qui porte à son extrémité un appareil chargé de matières très-explosives. Un semblable navire pourrait impunément atteindre au mouillage les bâtiments ennemis et les faire

sauter, sans que l'on eût soupçonné sa présence. Cependant, malgré tout le talent développé dans la construction du plongeur, et les ingénieuses combinaisons auxquelles il a donné naissance, il ne fournit pas encore la solution complète du problème de la navigation sous-marine. La difficulté qui, jusqu'à présent, n'a pu être surmontée, consiste à maintenir le navire immergé à une profondeur fixe et déterminée. Tous les efforts tentés dans cette voie ont été infructueux, et, peut-être, pour arriver à un résultat réellement pratique devra-t-on recourir à un système mixte, dans lequel le navire proprement dit, totalement immergé, serait maintenu dans une position stable à l'aide d'un flotteur de faible dimension dont il serait solidaire et qui lui servirait en quelque sorte de point d'appui. Un pareil flotteur serait de faible dimension ; il se dissimulerait dans les lames et, sans en méconnaître les inconvénients, il n'en aurait pas moins l'avantage de rendre possible le navire sous-marin qui, sans cela pourrait bien rester pendant longtemps à l'état de désideratum.

L'exposition de la marine comprend encore quelques navires qui, sans être destinés à prendre une part immédiate à une bataille navale, concourront cependant d'une manière très-efficace à des opérations militaires ; ce sont les corvettes à vapeur et les avisos. Les corvettes du type *Infernet* sont destinées à avoir des vitesses d'environ 15 nœuds leur permettant d'éviter les navires cuirassés les plus rapides ; leur principal rôle pendant la guerre serait de faire l'office d'éclaireurs, mais surtout de faire la course pour atteindre et détruire les corsaires à vapeur qui ne manqueraient pas de se produire, et dont les faits récents de la guerre d'Amérique ont manifesté la redoutable puissance de destruction. Les avisos des types *Jérôme Napoléon*, *Bouvet*, *d'Estrées*, sont plus spécialement destinés au service des stations lointaines en temps de paix ; leur rôle en temps de guerre serait nécessairement très-limité. Enfin, une flotte de navires de transport vient former l'auxiliaire et le complément de la flotte de combat. Le

spécimen le plus important de ce genre de navire est représenté par le type *Creuse*, qui, à une capacité de transport considérable, joint les très-belles vitesses de 11 nœuds.

§ 2. — Navires étrangers.

Exposition anglaise. — L'exposition anglaise présente la série complète de tous les types de navires à vapeur cuirassés ou non cuirassés : vaisseaux, frégates, corvettes, etc., existant actuellement dans la marine de Sa Majesté Britannique ; elle ne comprend pas moins de cent deux modèles construits sur une échelle uniforme, qui permettent de saisir facilement les transformations opérées depuis vingt ans dans le matériel flottant de la première puissance maritime du globe ; mais, malgré tout l'intérêt que présenterait l'étude même sommaire des principaux types de chaque espèce de navire, un semblable travail nous entraînerait forcément au delà des limites qui nous sont imposées, et, de même que pour la marine française, nous nous bornerons à l'examen des navires cuirassés.

Les modèles relatifs à cette classe de navires sont au nombre de vingt-six, et se rapportent à autant de types distincts ; quelques-uns, il est vrai, ne diffèrent que par des variantes d'une importance secondaire, mais, en les groupant par espèces similaires, on ne saurait les réduire à moins de douze types bien caractérisés. Cette grande variété de navires introduits dans la marine cuirassée anglaise contraste avec le petit nombre de ceux qui sont usités en France. Elle témoigne de la vive émotion que le nouvel élément du matériel naval a dû produire chez une nation comme l'Angleterre, où tout ce qui touche à la puissance maritime acquiert une importance capitale. Sous l'empire de cette émotion, tous les esprits se sont mis à l'œuvre ; les systèmes les plus divers ont surgi de tout côté, et l'administration supérieure, suivant les fluctuations de l'opinion publique, a mis successivement à l'épreuve ceux qui lui paraissaient le mieux répondre aux besoins du moment ou aux pré-

visions de l'avenir; de là ces éléments multiples, quelquefois disparates, qui composent la flotte britannique.

Les premiers navires cuirassés de la Grande-Bretagne ont déjà figuré à l'Exposition de 1862, et, par conséquent, ils peuvent être considérés comme connus; cependant comme ils constituent un élément important de la série actuelle, nous ne pouvons nous dispenser de rappeler en quelques mots leurs caractères distinctifs. Le *Warrior* et le *Black Prince*, qui ont inauguré la marine cuirassée en Angleterre, sont remarquables par leurs grandes dimensions; leur longeur est de 116 mètres, et leur déplacement atteint 8,850 tonneaux; grâce à ces proportions considérables, on a pu les doter de puissantes machines qui ont communiqué au *Varrior*, lors de ses essais, des vitesses de 14 nœuds et demi; néanmoins la faible quotité du poids disponible mettait dans l'obligation de réduire la cuirasse à une étendue qui n'occupe guère que le tiers de la longueur totale du navire, laissant ainsi les extrémités, avant et arrière, entièrement exposées aux effets des projectiles, d'autant plus à redouter que ces navires sont construits en tôle. L'*Achille*, construit, peu après les précédents, dans l'arsenal de Chatham, a conservé, à très-peu près, les mêmes dimensions, mais la cuirasse a été prolongée de bout en bout à la hauteur de la flottaison, et les extrémités des batteries sont seules dépourvues de protection; la coque est en fer, comme celle du *Warrior*, et c'est la première construction de cette espèce exécutée dans les arsenaux de la marine anglaise. Ces premiers navires, sans réunir toutes les qualités requises, occasionnaient d'énormes dépenses qui s'élevaient, tout compris, coque et machines, aux chiffres de 9 et même de 11 millions de francs. De semblables chiffres étaient effrayants; ils provoquèrent dans le sens économique une réaction, qui conduisit à des navires moins grands et moins rapides, mais qui devaient encore représenter une puissance militaire fort respectable; ce furent les types *Défence*, *Resistance*, *Hector*, *Valiant*, tous construits en fer; dans les deux premiers, la cuirasse fut

bornée à la partie centrale, comme dans le *Warrior* ; dans les deux autres elle règne de bout en bout et protége la batterie dans toute son étendue. La longueur de ces bâtiments est réduite à 85 mètres, leur déplacement à 4,089 tonneaux environ, leur prix de revient varie de 6 à 7 millions, mais leur vitesse qui atteignait au plus 12 nœuds aux essais fut trouvée insuffisante et, somme toute, ont les considère comme des navires assez médiocres.

Bien que la flotte cuirassée anglaise s'accrût rapidement, son effectif était loin d'être en rapport avec celui de l'ancienne marine à vapeur; pour rétablir promptement l'équilibre et être en mesure de parer à toutes les éventualités, il fut résolu que les vaisseaux de 90 canons à hélice, alors en chantier dans les différents arsenaux, seraient transformés en frégates cuirassées. Le travail à exécuter était considérable: il fallait les raser d'une batterie, les allonger par le milieu, exhausser les ponts, refaire enfin une grande partie des œuvres mortes; mais, même dans ces conditions, on espérait que ce travail serait plus rapide et moins coûteux que celui résultant de la création de navires neufs. Ces bâtiments furent *Caledonia*, *Royal Oak*, *Prince Consort*, *Ocean* et *Royal Alfred*. Leurs dimensions sont modérées, leur longueur est de 83^{m}80 et leur déplacement de 4,056 tonneaux; quant à leur prix, il s'est élevé de 6 millions à 6 millions et demi ; leur coque est en bois ; ils sont cuirassés de bout en bout sur toute l'étendue de la batterie, à l'exception du *Royal Alfred*, sur lequel la cuirasse a été supprimée aux extrémités. On peut encore rattacher à cette série de navires le *Zealous* à peu près dans les mêmes conditions de cuirassement que le *Royal-Alfred*, mais caractérisé par des dimensions principales moindres, et un déplacement réduit à 3,700 tonneaux. Comme puissance militaire et comme vitesse, ces navires sont d'ailleurs sur le même pied que ceux du type *Hector*, *Valiant*, etc.

Au reste, la construction des navires de puissance et de dimensions réduites n'empêchait pas de poursuivre la produc-

tion des types à grande vitesse et cela sur des proportions qui dépassaient mêmes celles des premiers, ce furent le *Northumberland*, *l'Agincourt*, *le Minotaur*, tous à coque en fer avec cuirasse complète sur toute l'étendue de la batterie; leur longueur atteint 122 mètres, et leur déplacement 10,200 tonneaux; leur prix s'éleva à 8 et 9 millions de francs; leur vitesse ne dépasse pas celle du *Warrior*; le seul avantage qu'ils réalisèrent, fut celui du cuirassement complet de la batterie.

Quelques-uns des navires en fer appartenant à la série que nous venons de passer en revue, présentent une étrave proéminente au-dessous de la flottaison, pouvant être considérée comme constituant une sorte d'éperon; certains d'entre eux sont même désignés sous le nom de béliers à vapeur (*steam ram*); cependant leur charpente de l'avant ne présente aucune consolidation spéciale, et, tels qu'ils sont établis, il est fort présumable que, dans le cas ou ils tenteraient l'attaque par le choc, elle leur serait tout aussi préjudiciable qu'à leur adversaire.

Les navires du type *Minotaur* atteignent la limite supérieure des dimensions usitées dans la marine cuirassée. La nécessité d'augmenter l'épaisseur du blindage et de réduire l'artillerie à un petit nombre de bouches à feu de très-fort calibre s'est fait sentir en Angleterre en même temps qu'en France, et conduisit aux navires à réduit central, exécutés pour la plupart sur les plans de M. Reed. Les premiers essais dans ce genre sont représentés par les modèles de *l'Entreprise* et de *la Recherche*; ce sont des navires à coque en bois, avec réduit central cuirassé dans toute son étendue; en dehors du réduit, la coque n'est cuirassée que dans le voisinage de la flottaison, les extrémités non cuirassées des œuvres mortes sont construites en tôle. Ce système a été bientôt appliqué à de plus grands navires, tels que *la Pallas* et *la Pénélope*, dont les longueurs et les déplacements sont respectivement de 68^{m}62 et 2,372 tonneaux pour l'une, et 79^{m}00 et 2,997 tonneaux pour l'autre. Cependant, tout en paraissant donner une préférence marquée aux navires à ré-

duit central, l'amirauté faisait encore construire deux frégates en bois avec cuirasse complète, ce sont le *Lord Warden* et le *Lord Clyde* ; toutes deux sont armées d'un éperon comme les navires français dont ils se rapprochent beaucoup par les dimensions principales tout en restant inférieures au type *Solferino* par l'absence de batterie haute. Enfin cette longue série d'essais et de tâtonnements se termine par les types *Bellérophon* et *Hercules;* le premier est à flot depuis quelques temps et ses qualités ont pu être appréciées, quant au deuxième, il est encore en chantier; tous deux sont construits en fer avec réduit central complétement cuirassé et ceinture protectrice à la flottaison; ils n'ont qu'une batterie couverte, située à peu près à la même hauteur qu'une deuxième batterie ordinaire. Les dimensions du *Bellérophon* sont les suivantes:

Longueur...	91m 50
Largeur	17 08
Tirant d'eau moyen	7 15
Déplacement	7.053t

Ces dimensions sont de beaucoup inférieures à celles des grands navires tels que *le Minotaur* et se rapprochent sensiblement de celles du type français *le Magenta*, quoique leur restant un peu supérieures: il n'est pas sans intérêt de remarquer que, par la force des choses, et après avoir essayé les combinaisons les plus variées, on ait été ramené en définitive aux proportions qui, dès l'origine avaient donné en France les meilleurs résultats. L'armement du *Bellérophon* se compose de 10 canons de 300 livres, pesant chacun 13 tonneaux, et de 4 canons Armstrong de 110 livres; l'avant est terminé en forme d'éperon, le gouvernail équilibré présente une grande surface et assure ainsi la promptitude des évolutions. La puissance nominal des machines est de 1,000 chevaux, la puissance effective de 5,000 chevaux et la vitesse de 14 nœuds 60.

L'Hercules, ainsi que nous l'avons déjà dit, présente beaucoup d'analogie avec *le Bellérophon*; il en diffère par son arme-

ment qui, bien que n'étant pas encore définitivement arrêté, doit comporter des pièces du calibre de 600 livres; l'épaisseur de sa cuirasse est également plus forte et atteint sur quelques points 24 centimètres; de là résultent certaines augmentations de poids, qui ont entraîné des accroissements de la longueur et du déplacement portés respectivement à 99 mètres et 8,266 tonneaux. On s'est également efforcé de parer autant que possible à la faiblesse de la carène en fer; à cet effet elle a été revêtue intérieurement, à proximité de la flottaison, dans toute la partie exposée au choc de l'éperon, d'un épais massif en bois, et en outre un double bordé en tôle, éloigné du bord extérieur de 60 à 80 centimètres, prévient, dans une certaine mesure, les conséquences du déchirement du bord ordinaire.

Tel est, pour le moment, le modèle le plus perfectionné des navires anglais, armés de bouches à feu tirant en batterie (*broad side ship*); mais il existe une autre classe de navires cuirassés appartenant au système à coupoles ou à tourelles (*turret ships*) qui, tout en étant moins répandus que les navires à batterie, comptent en Angleterre, ainsi qu'en Amérique, de nombreux partisans et figurent en certain nombre dans l'exposition de l'amirauté.

Le système des navires à tourelles, imaginé dès 1855, par le capitaine Copper Coles de la marine britannique, ainsi que nous l'avons dit en commençant, consiste à employer un petit nombre de bouches à feu du plus fort calibre existant, et à les placer dans des tours tournantes blindées; les navires eux-mêmes sont rasés à une très-faible hauteur au-dessus de l'eau et cuirassés dans toute leur longueur sur une zone étroite, suffisante pour protéger les œuvres vives et la très-petite portion de muraille qui constitue les œuvres mortes : on voit que le but que l'on se propose est de réduire le cuirassement aux parties indispensables, et de supprimer tout ce qui ne concourt pas directement, à la puissance militaire ou qui n'est pas indispensable pour constituer le navire. Cette idée nouvelle, séduisante à plusieurs titres, rencontra dès l'abord

une vive opposition en Angleterre, et, pendant le temps absorbé par des polémiques stériles, Ericsson s'en empara en Amérique et produisit les *monitors* qui démontrèrent que, au moins dans certains cas particuliers, les navires à tourelles pouvaient être employés avec avantage. Cependant l'amirauté fidèle à son système d'expérimentation, convaincue peut-être par les résultats obtenus en Amérique, décida la transformation du vaisseau à trois ponts *le Royal Sovereign*, en navire à tourelle : à cet effet il fut rasé de toutes ses batteries et reçut cinq tours tournantes armées de canons de 300 livres. Le travail fut terminé en 1862; mais ce premier essai fut loin d'être en faveur du système à tourelle, *le Royal Sovereign* ainsi transformé fut trouvé incapable de naviguer, et son rôle est forcément borné à celui de garde-côte ou de batterie flottante, et encore, pour ce service restreint, son tirant d'eau considérable est-il un déaut capital.

L'insuccès du *Royal Sovereign* pouvait être attribué à ce que la transformation d'un vaisseau à trois ponts, quelque radicale qu'elle fût, ne permettait pas de satisfaire d'une manière convenable à toutes les conditions voulues; un nouvel essai fut tenté, et l'on construisit en 1862-64, *le Prince Albert*, sur des plans étudiés cette fois d'après les indications du capitaine Coles lui-même; mais, suivant une condition à laquelle cet officier paraît attacher une très-grande importance, ce navire a encore été maintenu très-ras sur l'eau et par suite, se trouve dépourvu des qualités nautiques nécessaires pour tenir la mer. Il en est de même du *Wivern* et du *Scorpion* construits par M. Laird, d'après les plans de M. Coles, et qui, primitivement destinés aux États du Sud de l'Amérique, furent acquis par l'amirauté, plutôt pour résoudre certaines difficultés politiques que par suite de considérations relatives au système en lui-même Enfin, malgré les résultats peu satisfaisants obtenus jusqu'à ce jour, l'amirauté a entrepris un dernier essai plus important que tous les précédents et consistant en la mise en chantier de deux grands navires à tou-

relle, *le Captain* et *le Monarch*; le premier, d'après les plans de M. Coles, est en construction dans les ateliers de M. Laird; le deuxième d'après les plans des contrôleurs de l'amirauté, est en construction dans l'arsenal de Chatham.

Le Captain a 97 mètres de longueur et 16 mètres de largeur; son déplacement est d'environ 7,000 tonneaux; il porte deux tourelles seulement, armées chacune de deux canons du calibre de 600, pesant 22 tonnes; le pont très-peu élevé au-dessus de l'eau est surchargé de teugues et dunettes indispensables pour fournir quelques logements suffisamment aérés; une large passerelle établie par dessus les tours, et réunissant les gaillards de l'avant à l'arrière, est affectée à la manœuvre qui serait totalement impossible sur le pont ordinaire. *Le Monarch* porte également deux tours armées chacune de deux canons de 600 livres, mais on lui a donné des dimensions plus considérables; ainsi sa longueur a été portée à 100 mètres, sa largeur à 17m53, et son déplacement à environ 8,000 tonnes; grâce à cet accroissement, on a pu le doner de plus de hauteur d'œuvres mortes; le pont supérieur recouvre un véritable entrepont parfaitement aéré, et qui renferme les logements; par suite le pont du gaillard est débarrassé des teugues et dunettes; et les tourelles conservent leur champ de tir dans toute son étendue, tandis que leur grande élévation leur assure un pointage négatif très-avantageux. *Le Monarch*, parfaitement étudié dans toutes ses parties, ne semble donc présenter aucune des imperfections indépendantes du système lui-même et auxquelles on peut attribuer en partie les insuccès éprouvés jusqu'à présent par les navires à tourelles.

En dehors de l'exposition de l'Amirauté nous dirons quelques mots de celle de l'amiral Halsted, relative à une série de projets appelés, dans sa pensée, à constituer les types d'une marine militaire mise en rapport avec la puissance de l'artillerie moderne; tous ces projets sont établis d'après un principe uniforme et ne diffèrent que par leur grandeur absolue et leur force militaire; ils présentent tous une batterie couverte des-

tinée principalement à leur donner la hauteur d'œuvres mortes nécessaire pour assurer leurs qualités nautiques, car elles ne sont pas protégées par la cuirasse qui s'arrête à une faible hauteur au-dessus de l'eau, et les bouches à feu que renferme cette batterie ne peuvent servir que dans des circonstances exceptionnelles et d'une importance secondaire. La véritable puissance militaire de ces navires, réside dans les bouches à feu de fort calibre contenues dans des tourelles tournantes placées sur le pont des gaillards au nombre de 2, 4, 5 ou 7, suivant la grandeur absolue du bâtiment. Les détails relatifs à la manœuvre des bouches à feu, à celle du gouvernail, aux gréements et aux aménagements, sont étudiés avec le plus grand soin, peut-être avec un excès de recherche, mais on y trouve sur plusieurs points d'utiles indications. Sans vouloir rien préjuger d'un système qui n'est encore qu'à l'état de projet, on peut cependant lui reprocher les grandes dimensions des navires qu'il paraît exiger, sans compensation dans un accroissement sensible de la puissance militaire.

Nous avons eu occasion de nommer plusieurs fois les monitors américains; ces curieux spécimens de l'art naval sont représentés, bien que d'une manière incomplète, dans l'exposition du Gouvernement Russe : on sait que ce sont des navires ou plutôt des espèces de pontons à fonds plats n'élevant leur muraille qu'à 0m 30 environ au-dessus de la flottaison; leur tirant d'eau, augmenté depuis lors, n'a été dans l'origine que de deux ou trois mètres, calaison limitée par la condition de pouvoir opérer dans les fleuves des États-Sud de l'Amérique; ils portent une ou deux tours blindées et armées de canons de quinze pouces; leur coque, construite tantôt en bois, tantôt en fer, est cuirassée de bout en bout à la flottaison. On ne peut nier que, pour une destination spéciale, les monitors ne soient de redoutables instruments de combat, mais par leur nature même, leur emploi est par trop restreint et s'ils conviennent à des eaux telles que celles de la Baltique, ils ne peuvent répondre aux conditions multiples des véritables navires de mer.

En résumé, parmi les nombreux modèles de navires de guerre réunis à l'Exposition du Champ de Mars, les types qui paraissent résumer les derniers perfectionnements de l'art offensif et défensif, sont : dans le système à réduit central et à batterie, *le Marengo*, de la marine française, et l'*Hercules*, de la marine britannique ; dans le système à tourelles *le Monarch*, appartenant également à l'Angleterre. Peut-on admettre que l'on soit arrivé à quelque chose de définitif, que les derniers types que nous venons d'indiquer soient appelés à constituer la marine de l'avenir? Nous sommes loin de le penser : les navires actuels sont en état de résister à l'artillerie présente, mais si l'on considère certains systèmes dont les premiers essais figurent dans les galeries du Champ-de-Mars, on prévoit déjà que si les murailles latérales des navires sont à peu près invulnérables, on parviendra à battre en brèche la carène elle-même ou les ponts, qui jusqu'à présent sont restés sans protection ; le problème va donc se présenter sous des aspects nouveaux qui conduiront à de nouvelles combinaisons, et il est difficile de préjuger quelles en seront les conséquences au point de vue purement militaire, mais il est un fait certain, c'est que d'un semblable concours d'efforts intellectuels il ne peut résulter que de nouveaux progrès qui tourneront au profit de notre industrie maritime.

CHAPITRE II.

MACHINES MARINES AFFECTÉES AU SERVICE DE LA MARINE MILITAIRE.

---

§ 1er — Sections étrangères.

Les sections étrangères ne renferment qu'un petit nombre de machines appropriées aux besoins de la marine militaire :

l'Angleterre, l'Italie et l'Autriche sont les seules nations qui figurent au catalogue, et encore la difficulté des transports a-t-elle été un obstacle à l'expédition des machines elles-mêmes qui sont généralement remplacées par des modèles à échelle réduite. L'Angleterre a envoyé une seule machine de 350 chevaux, et l'Italie une petite machine de 50 chevaux pour canonnières. Pour la France, cette difficulté était considérablement moindre, aussi tous nos constructeurs ont-ils rivalisé d'efforts et de sacrifices pour envoyer au Champ-de-Mars les appareils de grande puissance qu'ils viennent de construire pour le département de la marine. L'usine impériale d'Indret a fait plus encore en joignant à la machine qu'elle expose la moitié de ses chaudières, ce qui a permis de faire fonctionner ce puissant appareil devant le public et de faire apprécier la douceur et la régularité de sa marche aussi bien que la belle exécution de toutes les pièces qui le composent.

La machine exposée dans la section anglaise provient des ateliers de M. Penn; sa puissance nominale est de 350 chevaux; elle est destinée à la corvette rapide la *Sapho*. Elle est dans le système à fourreau dont le célèbre ingénieur anglais ne s'est jamais départi pour les machines à hélice; cependant elle se distingue de celles construites à une époque antérieure par l'introduction de volumineux condenseurs à surface. Ces derniers se trouvent également dans les dernières machines exécutées par les divers établissements privés, pour le compte de l'Amirauté, qui paraît avoir définitivement adopté le principe de la condensation par surface. Les cylindres à vapeur de la *Sapho* sont pourvus d'enveloppes de vapeur complètes; l'introduction maximum de la vapeur a lieu jusqu'aux cinq huitièmes de la course seulement, et un appareil de détente variable très-simple permet de réduire l'admission jusqu'à un sixième. Les condenseurs affectent la forme de cylindres verticaux, l'eau circule à travers les tubes que la vapeur entoure extérieurement; l'eau refrigérente est fournie par deux pompes à force centrifuge, mises en mouvement par deux petites ma-

chines à vapeur distinctes et à action directe; des pompes à air d'un volume à peu près moitié de celle d'un appareil muni d'un condenseur ordinaire, recueillent l'eau condensée et contribuent au maintien du vide; des pompes alimentaires spéciales renvoient cette eau aux chaudières. M. Penn expose également un très-beau modèle des machines de 1,000 chevaux, dans le système de fourneau ordinaire et à condensation directe. Ce système est trop connu pour qu'il y ait lieu de s'appesantir à son sujet; il est également inutile d'insister sur la belle exécution des machines de M. Penn, leur réputation est tellement établie que tous nos éloges ne pourraient rien y ajouter. Nous nous bornerons à citer ce fait, que ses machines du *Bellerophon* supportent des vitesses de piston de 600 pieds par minute, c'est-à-dire plus de 3 mètres par seconde, ce qui sera sans doute considéré comme la meilleure preuve de l'exécution irréprochable de leurs mécanismes.

M. Maudslay a envoyé une série de modèles qui a déjà figuré à l'Exposition de 1862, ce qui semble indiquer que, depuis cette époque, il n'a apporté aucune modification aux types qu'il avait alors adoptés. Les plus intéressants pour le service militaire sont: celui des machines de 1,000 chevaux du *Minotaur*, à bielle renversée, dont les heureuses dispositions et surtout la facile accessibilité de tous les mécanismes ont été fort remarqués à sa première apparition, et celui des machines à trois cylindres de *l'Octavia*. On sait que dans cet appareil chaque cylindre est alimenté directement par la vapeur arrivant des chaudières; les deux extrêmes évacuent dans deux condenseurs tubulaires reportés aux extrémités de la machine; le cylindre intermédiaire, qu'il aurait été difficile de réunir à ces condenseurs par un tuyautage direct, évacue la vapeur dans les conduits d'émission des deux cylindres voisins. Des enveloppes de vapeur, une grande détente en régime ordinaire et une détente variable très-étendue, achèvent de donner à ces machines une marche tout à fait économique. Depuis les machines de *l'Octavia*, M. Maudslay n'a pas construit moins de vingt et un appareils, dont plusieurs

de 1,000 chevaux, dans le même système, ce qui est une preuve suffisante sans doute des bons résultats qu'il a donnés.

L'exposition de MM. *Humphry's* et *Tennant* se compose d'un beau modèle de machines de 500 chevaux, dans son système à bielle directe; il reproduit exactement les dispositions de l'appareil qui a figuré à Londres en 1862; on y trouve le même dégagement de toutes les parties et les mêmes facilités pour le service. Cependant, et pour des causes que nous ignorons, M. Humphry's a renoncé à la transmission directe, pour la transmission à bielle renversée, dans les machines de 1,100 chevaux du navire à tourelle *le Monarch*, dont il expose également un modèle fort bien exécuté. Ces machines sont pourvues de condenseurs à surfaces et doivent jouir des avantages généraux des machines à bielles renversées, mais les dispositions de détail ne paraissent pas heureuses et l'on n'y reconnaît pas la main qui avait su donner un cachet si particulier à la machine à bielle directe.

Enfin MM. Ravenhill et Hogdston exposent le modèle des machines à bielles renversées de 1,000 chevaux du *Lord Clyde;* ces machines conservent les dispositions suivies depuis longtemps par MM. Ravenhill : les condenseurs à surface reportés aux extrémités occupent de grands espaces; les paliers reçoivent des longueurs exceptionnelles favorables à la douceur des mouvements, mais les mécanismes sont moins accessibles que dans les appareils de M. Maudslay, et la transmission de mouvement au tiroir paraît bien massive et aurait pu être combinée d'une manière plus élégante.

Nous avons dit que la section italienne renfermait les machines de canonnière à deux hélices, de la force de 50 chevaux. Elles proviennent des ateliers de M. Westerman, à Gênes; elles occupent peu d'espace, tout en restant facilement accessibles dans toutes leurs parties; leur exécution ne présente pas de recherche inutile, mais paraît suffisamment soignée. L'usine de Saint-Pierre d'Arena, près Gênes, a envoyé quelques-unes des principales pièces mobiles, telles que pistons, bielles, etc.,

tion des types à grande vitesse et cela sur des proportions qui dépassaient mêmes celles des premiers, ce furent le *Northumberland*, *l'Agincourt*, *le Minotaur*, tous à coque en fer avec cuirasse complète sur toute l'étendue de la batterie; leur longueur atteint 122 mètres, et leur déplacement 10,200 tonneaux ; leur prix s'éleva à 8 et 9 millions de francs; leur vitesse ne dépasse pas celle du *Warrior;* le seul avantage qu'ils réalisèrent, fut celui du cuirassement complet de la batterie.

Quelques-uns des navires en fer appartenant à la série que nous venons de passer en revue, présentent une étrave proéminente au-dessous de la flottaison, pouvant être considérée comme constituant une sorte d'éperon; certains d'entre eux sont même désignés sous le nom de béliers à vapeur (*steam ram*) ; cependant leur charpente de l'avant ne présente aucune consolidation spéciale, et, tels qu'ils sont établis, il est fort présumable que, dans le cas ou ils tenteraient l'attaque par le choc, elle leur serait tout aussi préjudiciable qu'à leur adversaire.

Les navires du type *Minotaur* atteignent la limite supérieure des dimensions usitées dans la marine cuirassée. La nécessité d'augmenter l'épaisseur du blindage et de réduire l'artillerie à un petit nombre de bouches à feu de très-fort calibre s'est fait sentir en Angleterre en même temps qu'en France, et conduisit aux navires à réduit central, exécutés pour la plupart sur les plans de M. Reed. Les premiers essais dans ce genre sont représentés par les modèles de *l'Entreprise* et de *la Recherche* : ce sont des navires à coque en bois, avec réduit central cuirassé dans toute son étendue ; en dehors du réduit, la coque n'est cuirassée que dans le voisinage de la flottaison, les extrémités non cuirassées des œuvres mortes sont construites en tôle. Ce système a été bientôt appliqué à de plus grands navires, tels que *la Pallas* et *la Pénélope*, dont les longueurs et les déplacements sont respectivement de 68m62 et 2,372 tonneaux pour l'une et 79m00 et 2,997 tonneaux pour l'autre. Cependant, tout en paraissant donner une préférence marquée aux navires à ré-

ons nous borner à n'en relater que les
« Les résultats principaux (dit l'auteur)
é à obtenir par ces machines, avec in-
s un seul cylindre, sont :
mbustible ;
er les limites du nombre de tours que
les hélices, sans engrenages multipli-

c presque complet des pièces mobiles
le que soit, au roulis, la position du

dres égaux de même diamètre et de
côte à côte avec leurs axes dans un
ois pistons agissant sur un même arbre
eux coudes des pistons extrêmes sont
le droit, et celui du piston du milieu,
ment la vapeur, est placé à l'opposé de
prolongement de la ligne qui le divise
. Enfin deux condenseurs munis chacun
ont destinés à condenser la vapeur à
dres extrêmes. »
tionnent avec une charge, sur les sou-
centimètres de mercure, correspondant
de deux atmosphè et trois quarts, ou
mercure ; c'est la limite supérieure de
l'alimentation à l'eau salée. En sortant
peur circule dans un appareil sécheur
cheminée et qui lui communique une
és. « La vapeur venant du sécheur se
tuyaux égaux qui la conduisent dans
eloppes disposées autour de chacun des
. La vapeur circule dans ces enveloppes
r le métal des cylindres extrêmes, en
rtie de sa surchauffe ; et c'est à la sortie
u'elle arrive des deux côtés dans la boîte

« du tiroir central; deux valves sont placées à la sortie des « chemises des cylindres extrêmes, c'est-à-dire à l'entrée de « la boîte du tiroir du cylindre milieu. Par cette disposition, « lorsque l'on étrangle les valves pour modérer l'allure de la « machine, on maintient la tension et la température élevée « de la vapeur affluente dans les chemises des cylindres ex- « trêmes, ce qui est très-important. »

A toute puissance, la tension de la vapeur, à son arrivée dans le cylindre central, est d'environ 200 centimètres de mercure: après avoir poussé le piston de ce cylindre, elle s'évacue en se partageant entre les deux cylindres extérieurs et arrive à leurs boîtes à tiroirs par de larges passages dont le volume fait en partie fonction de réservoir intermédiaire; enfin, après avoir poussé les pistons des cylindres extérieurs, elle s'évacue dans les condenseurs correspondants. L'admission de la vapeur est de 0, 80 de la course dans le cylindre milieu et de 0, 75 dans les deux extrêmes, ce qui procure trois diagrammes sensiblement égaux avec une pression effective moyenne de 34 centimètres. Il y a de légères variations de contrepression au cylindre milieu, mais elle sont négligeables.

Dans ces conditions, pour la machine qui fonctionne à l'Exposition, il faut réaliser 57 tours trois quarts par minute pour développer 4,000 chevaux de 75 kilogrammètres, mesurés à l'indicateur. Cette puissance devra imprimer à la frégate cuirassée de premier rang, *le Friedland*, une vitesse de 14 nœuds et demi. Le poids de l'appareil complet, comprenant chaudières, hélice, parquets et tous les accessoires, est de 810 tonneaux, soit 203 kilogrammes par cheval de 75 kilogrammètres, eau comprise.

Après avoir établi de la sorte les conditions de régime des machines à trois cylindres, l'auteur passe à l'examen des causes qui leur assurent les qualités annoncées. En premier lieu on y fait travailler la vapeur en la détendant dans le rapport de 4 à 10, tandis que dans le système vulgaire à deux cylindres, pour éviter les machines trop volumineuses et sur-

tout les organes mobiles trop pesants, le régime de l'introduction à toute puissance est de 0,70 de la course; les détentes plus étendues ne sont employées que pour les vitesses réduites. De plus, lorsque la vapeur se détend dans le cylindre dans lequel se fait l'introduction à pression élevée, on est bien loin d'en retirer les bénéfices indiqués par la théorie, à tel point que, dans les machines marines ordinaires, le fonctionnement à grande détente ne procure pas plus d'économie que la marche à l'introduction de 0,70 avec une pression moins élevée. Le refroidissement produit sur les parois internes des cylindres par l'emploi des longues détentes est la cause du peu d'économie qu'elles produisent dans les machines à moyenne pression et à condensation. « L'économie de com-« bustible dans les machines à trois cylindres tient donc es-« sentiellement à ce qu'on y évite d'introduire de la vapeur à « une forte tension, dans des cylindres dont les parois inté-« rieures seraient refroidies par la détente et par l'évacuation « dans le vide, de l'humidité déposée sur ces parois. C'est « pour arriver à ce résultat qu'il importe d'employer autour « des cylindres où se fait le vide, des chemins avec un cou-« rant de vapeur à une tension plus élevée que celle agissant « dans ces cylindres. » Dans les machines en question et en tenant compte des conditions de leur fonctionnement, on reconnaît que les parois des cylindres extrêmes doivent se trouver à une température supérieure de 38° environ à celle de la vapeur affluente, dont les condensations deviennent ainsi totalement impossibles. « En résumé, la consommation des ma-« chines marines les mieux entendues avec sécheur de vapeur « et chaudières alimentées à l'eau de mer, est au moins de « 1 kil. 60 de bonne houille, par heure et par cheval de 75 kilo-« grammètres, mesurés sur les pistons. Cette consommation « pour les machines à trois cylindres que l'on vient de dé-« crire, ne saurait être de plus de 1 kil. 28, ce qui fait une « économie de 20 pour 100. »

En partant de ce chiffre et en tenant compte du développe-

ment plus considérable que doivent présenter pour une même puissance, les chaudières d'une machine ordinaire à consommation élevée, M. Dupuy de Lôme établit que le poids total d'un appareil à deux cylindres serait de 818 tonneaux, tandis que celui de l'appareil à trois cylindres de même force est de 810 tonneaux, en sorte que l'économie de combustible, réalisée avec les nouvelles machines, reste tout entier à l'avantage du chargement du navire.

En ce qui concerne la limite plus éloignée du nombre de tours auquel on peut lancer la machine à trois cylindres, sans être arrêté par les échauffements des coussinets, des bielles et des arbres de couche; cette faculté tient à la réduction considérable des efforts maxima exercés sur les pistons; dans une machine à deux cylindres de puissance égale, la pression maximum initiale sur le piston serait de 198 centimètres; dans la machine à trois cylindres, elle est de 96 centimètres seulement ou environ moitié. Si l'on se rend compte des efforts absolus qui résultent de ces tensions, et de la vitesse des organes qui les supportent, on comprendra l'importance de la réduction opérée sur les pressions qui s'exercent aux points morts, sur les coussinets de la tête de bielle, par exemple. Cette pression, quoique réduite à moitié est encore de 40 kilogrammes par centimètre carré.

Le troisième avantage revendiqué pour la machine à trois cylindres « est l'équilibre statique presque complet que pré« sentent toutes les pièces mobiles, autour de l'arbre, aussi « bien durant les mouvements de roulis du navire que lors« qu'il est vertical. » Cet équilibre serait complet, si les trois manivelles étaient calées à 120°, avec le calage que nous avons décrit plus haut et adopté dans le but de donner un écoulement régulier à la vapeur du cylindre milieu, sans recourir à un réservoir intermédiaire, l'équilibre n'est plus parfait, mais la situation est bien plus favorable que dans le cas de deux manivelles à 90°. C'est en raison de cette disposition que la machine du *Friedland* peut fonctionner réguliè-

rement avec une vitesse variant depuis moins de 10 tours jusqu'à 60 tours par minute, sans avoir de travail sérieux à vaincre, sans autre volant que son hélice. Cette propriété des machines à trois cylindres est des plus précieuses pour les manœuvres à très-petite vitesse et pour la régularité des mouvements à la mer.

Dans les machines actuelles, la condensation se fait par injection directe; dans les nouvelles machines, dont le programme est élaboré par M. Dupuy de Lôme, les condenseurs par surface sont franchement adoptés, et par suite la pression de régime est portée à trois atmosphères et même au-delà, ce qui permettra de réaliser de nouveaux avantages dans le même sens, mais à un degré plus élevé que ceux que présentent les machines actuelles. Les grands appareils destinés à la marine impériale sont donc tous établis d'après les principes que nous venons d'indiquer, et, par suite, présentent les mêmes dispositions générales; mais, à l'exception du mécanisme de changement de marche, à engrenage, qui a été imposé, chaque fabricant a été libre d'adopter telles combinaisons de détail qui lui ont paru les plus convenables; l'œuvre de chacun d'eux conserve donc ainsi son cachet particulier et son mérite individuel.

Les machines du *Friedland* provenant de l'*usine impériale d'Indret*, se font remarquer par la facile accessibilité de tous les organes du mécanisme : du haut de la plate-forme de manœuvre, on saisit d'un seul coup d'œil toutes les parties de l'appareil, et, en descendant sur le parquet inférieur, on peut aller toucher les têtes de bielles, les paliers, et en un mot toutes les pièces qu'il importe de surveiller pendant la marche. Cet heureux résultat provient principalement de la forme et de la position assignée aux condenseurs; ceux-ci, groupés en un seul bloc avec la bâche et la pompe à air sont, reportés aux extrémités de la machine en dehors des glissières des cylindres extrêmes et laissent le milieu entièrement dégagé. Les tiroirs en D sont forcément placés par dessus les cylindres; leur

transmission de mouvement est à la fois très-simple et très-élégante; enfin la jonction de l'arbre de la machine avec celui de l'hélice est effectuée à l'aide d'un joint à la Cardan complet, qui met à l'abri des accidents occasionnés par les dénivellations d'arbres à peu près inévitables sur les navires de grande longueur. Les appareils du *Friedland* présentent assurément la plus heureuse des réalisations actuelles des machines à trois cylindres et font le plus grand honneur à l'habile directeur de l'usine impériale d'Indret.

Dans les machines à trois cylindres de l'*Océan*, exposées par l'usine du Creusot, les condenseurs et la bâche forment deux caisses prismatiques séparées par un intervalle occupé par les tiges de piston, la bielle et les guides du compartiment médian; un compartiment inférieur les réunit et renferme les pompes à air. Chaque condenseur ainsi constitué est placé vis-à-vis du cylindre correspondant, et il en résulte pour la machine une longueur totale un peu moindre que pour les appareils d'Indret; les parquets de service placés par dessus les condenseurs et les bielles occupent aussi un peu moins d'espace en largeur, mais bien que les mécanismes soient assez accessibles, on ne peut se dissimuler que l'on ne jouit pas à cet égard, des mêmes avantages que dans les machines du *Friedland*.

Le Creusot expose également l'une des machines à deux cylindres de 275 chevaux, constituant la moitié de l'appareil complet du garde-côte à deux hélices, *le Cerbère*. Pour les navires garde-côtes qui ne sont pas destinés à des navigations lointaines, l'économie de combustible ne présente qu'une importance secondaire, et l'on n'a pas cru nécessaire de recourir aux appareils à trois cylindres, qui, dans le cas particulier des machines doubles auraient présenté l'inconvénient d'une multiplicité excessive de tous les organes, puisqu'il n'y aurait pas eu moins de six cylindres avec tous les mécanismes qui les accompagent. Les machines du *Cerbère* sont dans le système ordinaire à bielles renversées, tiroirs à coquilles sur le

côté et transmission à cet organe par la coulisse de Stephenson. Leurs dispositions d'ensemble sont très-satisfaisantes et elles se font remarquer, ainsi que les appareils de *l'Océan*, par une très-belle exécution; quelques parties même présentent un luxe de poli, que l'on pourrait regarder comme exagéré, s'il n'avait le mérite de ne pouvoir être abordé qu'avec des matières de première qualité.

La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, n'a pas exposé les machines complètes de 1,000 chevaux, du *Marengo*, construites dans ses ateliers, elle s'est contentée d'envoyer au Champ-de-Mars les pièces mobiles de cet appareil, assemblées de manière à en former comme le squelette, et à livrer à l'examen les parties habituellement cachées et dans lesquelles les malfaçons sont ainsi plus faciles à dissimuler; un modèle à échelle réduite permet d'ailleurs de se rendre complétement compte des dispositions de ces belles machines. Les tiroirs en D sont placés par dessus les cylindres comme dans les deux appareils que nous venons d'examiner, les condenseurs situés devant les cylindres extrêmes, affectent la forme d'une caisse prismatique, dans laquelle est pratiquée une large ouverture pour recevoir la grande bielle et les guides, d'après la disposition suivie habituellement dans les ateliers de la Compagnie pour les grandes machines. Les appareils du *Marengo* sont dans les mêmes conditions d'encombrement que ceux du Creusot, mais les paliers de l'arbre de couche sont plus accessibles et plus faciles à démonter. La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée expose encore une machine de 300 chevaux, d'après un type qui lui est propre et dont plusieurs spécimens ont été mis en service sur les navires de guerre le *Friederick-Carl*, le *Brazil*, le *Palestro* et le *Varèse*. Elle est à deux cylindres à bielles renversées avec tiroirs sur les côtés, mus par le secteur de Stephenson; toutes les pièces sont bien dégagées et d'un accès facile, l'aspect général de ces machines est très-satisfaisant. Nous avons déjà dit à propos des machines affec-

tées à la marine commerciale, les qualités qui distinguent les produits sortant des ateliers de cette importante Compagnie, nous ne pouvons que répéter ici qu'on les retrouve tout entières dans les appareils destinés à la marine militaire.

La Compagnie des chantiers et ateliers de l'Océan expose les appareils de 450 chevaux, sortis des ateliers de MM. Mazeline du Havre, et destinés à la corvette *l'Atalante;* dans ces machines à trois cylindres comme les précédentes, MM. Mazeline ont conservé les dispositions caractéristiques qu'ils emploient habituellement, c'est-à-dire, tiroirs à coquille évacuant par le dos ; condenseurs en un seul bloc élevés au-dessus des glissières et des bielles, paliers emboîtés dans les bâtis, etc. Le parquet de manœuvre est situé au-dessus de la glissière du cylindre du milieu dans une position avantageuse. Ces machines se font remarquer par le soin extrême apporté dans tous les détails, par la pureté générale des formes des différentes pièces, par d'heureuses combinaisons des mécanismes ; le seul reproche que l'on puisse leur adresser se rapporte à la grande élévation du condenseur, ainsi nuisible à la solidité de l'ensemble de la machine.

En résumé, l'inspection des appareils exposés par nos établissements de machinerie laisse l'impression la plus satisfaisante, et l'on ne peut que regretter doublement l'absence des produits similaires de l'Angleterre qu'ils auraient sans doute égalés, si même ils ne les eussent dépassés dans bien des cas.

SECTION IV

BALISAGE

PAR M. DUMOUSTIER.

Il existe le long de tout littoral maritime, à des distances plus ou moins grandes des côtes, un certain nombre d'écueils dont la présence est une cause de dangers redoutables pour la navigation. Lorsque ces écueils se découvrent à mer basse, que le fond en est suffisamment résistant et l'accès possible, on les signale, suivant leur importance, par un phare, une tour ou une simple balise. On a recours à des bouées quand ils sont situés à une trop grande profondeur au-dessous du niveau de la mer, ou même à des feux flottants, lorsque l'importance de la navigation ou des dangers exceptionnels commandent de fournir, la nuit comme le jour, des indications plus précises aux navigateurs.

Nous n'avons pas à nous occuper des phares; ces travaux appartiennent à la classe 65; nous n'avons à rendre compte que des progrès réalisés dans le balisage proprement dit, c'est-à-dire les balises, les bouées, les feux flottants et les signaux en temps de brume.

Balises. — Un progrès considérable a été accompli, depuis 1855, dans l'établissement de ces ouvrages. Ce progrès consiste dans la substitution de tourelles en maçonnerie aux balises à une seule branche en bois ou en fer, qui étaient

presque exclusivement employées. Ces tiges, même surmontées d'une boule, comme on le fait en Angleterre, ont le double inconvénient d'être peu apparentes et de ne pas présenter une grande résistance.

On avait déjà construit des tourelles en maçonnerie sur quelques écueils, mais on se croyait dans la nécessité de les exécuter en pierres de taille de grande dimension, de formes plus ou moins compliquées et maintenues par des armatures en fer; ces ouvrages étaient dès lors très-dispendieux. Un nouveau mode de construction, adopté récemment par l'administration française, et qui consiste à n'employer que de petits matériaux maçonnés en mortier de ciment, a permis de multiplier l'emploi de ces tourelles ; on en compte aujourd'hui 174 sur le littoral français. La plupart de ces tourelles portent des échelles et des anneaux de sauvetage, et sont couronnées par une balustrade ; elles offrent ainsi un abri aux naufragés qui parviendraient jusqu'à elles. Quelques-unes d'entre elles sont, en outre, surmontées de cloches dont les battants sont soulevés par le mouvement de la mer.

Bouées. — Aux anciennes bouées en bois, de trop petites dimensions, on a substitué, dans ces dernières années, des bouées en tôle de fer, de grandes dimensions; ces bouées sont composées de compartiments étanches, ce qui les maintient à flot, même quand elles ont reçu de fortes avaries. Quelques-unes sont munies de cloches et de miroirs, presque toutes portent des voyants dont les formes varient de manière à présenter un caractère distinctif. Des bouées en forme de bateau, plus grandes qu'aucune de celles en usage, ont été mouillées à l'embouchure de la Loire; elles s'aperçoivent à de grandes distances et se comportent bien à la mer. Le prix de revient ne permet malheureusement pas d'en généraliser l'emploi. Un système uniforme de coloration a été adopté en France pour les bouées, de même que pour les balises. Tous ceux de ces ouvrages que le navigateur doit laisser à droite, en se diri-

geant vers le port, sont peints en rouge; ceux qu'il doit laisser à gauche sont peints en noir; ceux qu'il peut ranger indifféremment d'un côté ou de l'autre ont reçu des bandes alternativement rouges et noires. Le même mode de coloration a été appliqué sur une partie des côtes d'Angleterre. Le nombre des bouées du littoral français est, en ce moment, de 498; on n'en comptait que 195 en 1855.

Feux flottants. — On donne ce nom à un bâtiment mouillé dans le voisinage de l'écueil à signaler, et sur lequel on entretient des feux pendant toute la durée de la nuit. Ces bâtiments se distinguent de ceux du commerce en ce que l'on s'attache à leur donner les formes reconnues les meilleures pour diminuer, par les gros temps, le tangage comme le roulis, c'est-à-dire toutes les oscillations de nature à nuire à la visibilité des feux en faisant incliner plus ou moins les mâts qui les supportent. En termes techniques, ce sont des navires à quille, mais à varangues plates relevées et isolées de l'avant, arrière arrondi et voûtes pleines. Dans quelques-uns, indépendamment de la quille proprement dite, il y a, de chaque côté de celle-ci, des fausses quilles ou pièces longitudinales fixées en saillie sur les flancs du navire, de manière à augmenter la résistance aux oscillations transversales. Ces navires ont un, deux, ou trois mâts, selon le nombre de feux qu'ils doivent porter. Leurs dimensions ordinaires varient de 21 à 25 mètres de longueur de quille, avec 150 à 180 tonnes de capacité. Ils sont généralement construits en bois; quelques essais de construction en fer ont été faits en Angleterre; les résultats n'ont pas paru satisfaisants. L'une des questions les plus importantes est celle qui concerne l'amarrage, lequel prévient autant que possible le déplacement des feux. On emploie, dans ce but, des ancres très-lourdes et des chaînes d'un très-fort calibre.

La première application de ce mode de balisage appartient à l'Angleterre, l'allumage des deux feux de Dudgeon et de Nore date de 1734 à 1735. On compte en ce moment quarante-six phares

flottants sur les côtes du Royaume-Uni. Il en existe également un assez grand nombre en Amérique. La France n'en possède que sept, l'éclairage de nos côtes ne paraît pas en nécessiter un plus grand nombre. Le premier a été allumé en 1845, sur le banc de Tallais, à l'embouchure de la Gironde, les autres sont d'installation très-récente; parmi ces derniers, il faut citer le ponton mouillé aux abords du plateau sous-marin de Rochebonne, à 33 milles à l'ouest de l'île de Ré, par 50 mètres de profondeur d'eau de basse-mer, sur un fond de gravier parsemé de têtes en roches. La mer est tellement redoutable en cet endroit que la question de savoir s'il était possible d'y maintenir un navire paraissait fort douteuse aux marins les plus expérimentés. On y a employé un bâtiment de 350 tonneaux, bien supérieur au tonnage admis jusqu'alors.

Signaux pour les temps de brume. — Les signaux sonores à faire pendant les brumes, pour indiquer aux navigateurs l'entrée d'un port ou la position d'un danger, ont été l'objet de nombreuses études tant en France qu'en Angleterre et aux États-Unis. Les instruments les plus répandus sont, après les cloches, les sifflets et les trompettes à air comprimé au moyen d'un manége à chevaux ou d'une petite machine à vapeur. Les cloches ne peuvent porter le son à de grandes distances et il est des positions où elles sont insuffisantes. Des expériences faites à Paris, à l'atelier central des phares, ont établi que, à égalité de dépense, la trompette est l'appareil sonore le plus avantageux. On paraît être arrivé à la même conclusion en Angleterre. Une trompette à air comprimé vient d'être installée sur la pointe de Dungeness (Angleterre), et une autre l'a été sur le cap de l'île d'Ouessant (France), le plus avancé vers l'Ouest. La trompette de l'île d'Ouessant se fait entendre pendant deux secondes à des intervalles de dix secondes. On lui imprime un mouvement de rotation de manière à diriger successivement le pavillon sur tous les points de l'horizon maritime. L'air est comprimé au moyen d'une machine à vapeur de

3 chevaux, qui est chargée, en outre, du mouvement de l'instrument et de la manœuvre d'introduction d'air comprimé. La dépense de combustible est de 5 à 6 kilogrammes par heure. La portée de cette trompette est de 4 à 5 milles marins par les temps calmes.

SECTION V

SAUVETAGE

PAR M. DUMOUSTIER.

Le respect de la vie humaine est un des caractères distinctifs des civilisations modernes. La plupart des progrès réalisés depuis le commencement du siècle, dans toutes les branches de l'activité sociale, portent cette empreinte; l'art naval s'en est inspiré. En même temps, en effet, que la science et le génie armaient la marine militaire de ses gigantesques engins de défense, et donnaient à la marine commerciale des sécurités plus grandes et des rapidités inconnues jusqu'alors, une troisième marine, qu'on pourrait appeler la marine de sauvetage, se créait et se développait sous l'action fécondante des idées chrétiennes : le dévouement et la charité. Cette marine de sauvetage a pris, dans ces dernières années, un rapide essor. Elle a conquis sa place parmi les plus importantes institutions, et l'Exposition de 1867 constate les progrès considérables de son outillage spécial.

A toute époque, lorsque la tempête assaillait les côtes et jetait au rivage des navires brisés et des épaves humaines, le dévouement de la population est venu en aide aux naufragés; mais ce dévouement devenait souvent stérile, faute d'une organisation qui, en réglant les efforts, multipliât les forces et garantît le succès. C'est cette organisation que les Sociétés de sauvetage ont créée. Nous ferons connaître, en peu de mots,

le fonctionnement de ces sociétés, les engins qui composent leur matériel et les divers appareils de sauvetage imaginés par de nombreux inventeurs.

§ 1. — Origine et état actuel des sociétés de secours aux naufragés.

La première société de sauvetage a pris naissance en Angleterre, dans le comté de Northumberland; elle date de 1824. Elle a été formée par deux hommes de bien, dont la reconnaissance publique a conservé les noms : sir William Hellary et sir Thomas Wilson. Des sociétés semblables se sont, peu après, organisées dans d'autres comtés; mais ces Sociétés isolées, malgré l'énergie de leurs efforts, se développaient faiblement. En 1852, on reconnut qu'il serait préférable de réunir toutes ces sociétés éparses en une vaste association qui, de Londres, ferait rayonner l'œuvre sur tous les points du littoral anglais. Le succès a répondu à l'attente. L'Institution royale et nationale des *Life-Boats*, qui compte parmi ses adhérents les plus grands noms de l'Angleterre et dont les assemblées annuelles sont présidées par le prince de Galles, possède aujourd'hui cent soixante-dix stations de canots, munis d'appareils perfectionnés. De 1853 à 1866, la société a dépensé, pour ce matériel, plus de 4 millions de francs, versés dans sa caisse par la bienfaisance publique; elle a distribué de nombreuses médailles et d'autres récompenses en argent pour faits de sauvetage. Sa prospérité s'accroît chaque année; en 1866, les recettes en dons, souscriptions et legs, ont dépassé un million de francs. A côté d'elles, le *Board of Trade* (Ministère du Commerce) a installé de nombreuses stations de porte-amarres, dont le service est confié aux gardes-côtes.

Le sauvetage, en Angleterre, est donc doté d'un service complet divisé entre la Société royale et l'État. Le nombre de personnes qui ont dû la vie à cette organisation, depuis la formation de la première Société du Northumberland, dépasse 15,900.

transmission de mouvement est à la fois très-simple et très-élégante; enfin la jonction de l'arbre de la machine avec celui de l'hélice est effectuée à l'aide d'un joint à la Cardan complet, qui met à l'abri des accidents occasionnés par les dénivellations d'arbres à peu près inévitables sur les navires de grande longueur. Les appareils du *Friedland* présentent assurément la plus heureuse des réalisations actuelles des machines à trois cylindres et font le plus grand honneur à l'habile directeur de l'usine impériale d'Indret.

Dans les machines à trois cylindres de l'*Océan*, exposées par l'usine du Creusot, les condenseurs et la bâche forment deux caisses prismatiques séparées par un intervalle occupé par les tiges de piston, la bielle et les guides du compartiment médian; un compartiment inférieur les réunit et renferme les pompes à air. Chaque condenseur ainsi constitué est placé vis-à-vis du cylindre correspondant, et il en résulte pour la machine une longueur totale un peu moindre que pour les appareils d'Indret; les parquets de service placés par dessus les condenseurs et les bielles occupent aussi un peu moins d'espace en largeur, mais bien que les mécanismes soient assez accessibles, on ne peut se dissimuler que l'on ne jouit pas à cet égard, des mêmes avantages que dans les machines du *Friedland*.

Le Creusot expose également l'une des machines à deux cylindres de 275 chevaux, constituant la moitié de l'appareil complet du garde-côte à deux hélices, *le Cerbère*. Pour les navires garde-côtes qui ne sont pas destinés à des navigations lointaines, l'économie de combustible ne présente qu'une importance secondaire, et l'on n'a pas cru nécessaire de recourir aux appareils à trois cylindres, qui, dans le cas particulier des machines doubles auraient présenté l'inconvénient d'une multiplicité excessive de tous les organes, puisqu'il n'y aurait pas eu moins de six cylindres avec tous les mécanismes qui les accompagent. Les machines du *Cerbère* sont dans le système ordinaire à bielles renversées, tiroirs à coquilles sur le

côté et transmission à cet organe par la coulisse de Stephenson. Leurs dispositions d'ensemble sont très-satisfaisantes et elles se font remarquer, ainsi que les appareils de *l'Océan*, par une très-belle exécution; quelques parties même présentent un luxe de poli, que l'on pourrait regarder comme exagéré, s'il n'avait le mérite de ne pouvoir être abordé qu'avec des matières de première qualité.

La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée, n'a pas exposé les machines complètes de 1,000 chevaux, du *Marengo*, construites dans ses ateliers, elle s'est contentée d'envoyer au Champ-de-Mars les pièces mobiles de cet appareil, assemblées de manière à en former comme le squelette, et à livrer à l'examen les parties habituellement cachées et dans lesquelles les malfaçons sont ainsi plus faciles à dissimuler; un modèle à échelle réduite permet d'ailleurs de se rendre complétement compte des dispositions de ces belles machines. Les tiroirs en D sont placés par dessus les cylindres comme dans les deux appareils que nous venons d'examiner, les condenseurs situés devant les cylindres extrêmes, affectent la forme d'une caisse prismatique, dans laquelle est pratiquée une large ouverture pour recevoir la grande bielle et les guides, d'après la disposition suivie habituellement dans les ateliers de la Compagnie pour les grandes machines. Les appareils du *Marengo* sont dans les mêmes conditions d'encombrement que ceux du Creusot, mais les paliers de l'arbre de couche sont plus accessibles et plus faciles à démonter. La Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée expose encore une machine de 300 chevaux, d'après un type qui lui est propre et dont plusieurs spécimens ont été mis en service sur les navires de guerre le *Friederick-Carl*, le *Brazil*, le *Palestro* et le *Varèse*. Elle est à deux cylindres à bielles renversées avec tiroirs sur les côtés, mus par le secteur de Stephenson; toutes les pièces sont bien dégagées et d'un accès facile, l'aspect général de ces machines est très-satisfaisant. Nous avons déjà dit à propos des machines affec-

— les bateaux pour les navires, — les porte-amarres et les engins divers, tels que ceintures, bouées, radeaux, appareils pour amener les canots, ancres flottantes, etc., etc.

Bateaux.— La France aurait peut-être des titres à la priorité d'exécution des bateaux de sauvetage. Il résulte, en effet, d'un document qui a été publié, qu'en 1610, le chevalier de Launay de Razilly avait proposé un bateau insubmersible et qu'au mois de juillet 1775 M. de Bernières, contrôleur général des ponts et chaussées, présenta un nouveau système qui fut expérimenté sur le bassin des Tuileries. Toutefois ces tentatives paraissent être demeurées isolées. Des essais poursuivis en Angleterre, à la fin du siècle dernier, ont donné lieu immédiatement, au contraire, à des applications pratiques. En 1785, un Anglais, nommé Lukin, prit un brevet pour un bateau à double carène et pourvu de caisses à air sous le pont.

En 1790, Greathead produisit un système d'un nouveau genre, d'après lequel un grand nombre d'embarcations ont été construites. Mais ces bateaux ne se vidaient pas et ne se redressaient pas. On ne s'est occupé de ces deux propriétés indispensables aux bateaux de sauvetage que beaucoup plus tard, alors qu'un concours fut ouvert, à la suite de la formation des premières Sociétés de sauvetage, pour la confection d'un type de bateau offrant les qualités les plus propres au service que l'on organisait.

Le type des embarcations à redressement spontané, le plus généralement employé, est connu sous le nom du *Royal national Life-Boats institution.* Ce type a reçu successivement diverses améliorations qui en ont fait le modèle le plus parfait de ceux qui ont été produits jusqu'à présent: la Société française l'a adopté.

Ce canot est pointu aux deux extrémités, un peu plus fin de l'arrière que de l'avant, et sans différence de tirant d'eau. L'arrière et l'avant, fortement relevés, sont protégés par des tambours en dos d'âne. Les dimensions principales varient

légèrement dans les embarcations françaises et anglaises ; le canot français a 9m78 de longueur de tête en tête au plat-bord ; 2m24 de largeur hors bordée au milieu, 0m91 du plat-bord, au-dessus de la quille au milieu, 1m65 à l'étrave et 1m60 à l'étambot. Le poids total de la coque, avec les caisses à air est de 2,140 kilogrammes. La quille est en chêne d'un seul morceau; une fausse quille en fer forgé double le dessous de la première sur toute sa longueur. La coque est formée de deux couches en bois d'acajou superposées et croisées à 45° ; ces couches ont ensemble une épaisseur de 16 centimètres et sont séparées par une toile imprégnée de glue marine. Le pont court de bout en bout ; son élévation aux extrémités tend à ramener l'eau embarquée vers le centre, où elle trouve issue par six tubes en cuivre. Ces tubes ont leur orifice supérieure au niveau du pont, ils sont fermés par des soupapes automotrices. Les caisses à air sont au nombre de vingt-huit : deux formées à l'avant et à l'arrière par la coque, les tambours et les cloisons verticales, quatorze dans la cale et douze sous le pont. Les tambours sont recouverts d'une toile imprégnée de glu marine et, par dessous, de plaques de liége que l'on imbibe d'huile de lin bouillie. Les autres caisses en bois et couvertes en toile s'adaptent aux formes de l'embarcation, suivant la place qu'elles occupent. La propriété du redressement spontané est obtenue au moyen de la fausse quille en fer et des coffres à air de l'avant et de l'arrière. Lorsque le canot est chaviré, il porte sur les deux coffres, dont la forme en dos d'âne est une cause d'instabilité. Dans cette situation, le centre de gravité est très-élevé au-dessus du plan de flottaison de tout le système ; le canot se trouve dès lors en équilibre instable ; le plus léger mouvement du flot, même en mer la plus calme, détruit l'équilibre : l'embarcation se retourne vivement alors et reprend son assiette ordinaire.

Les embarcations de sauvetage employées en Danemark se vident d'elles-mêmes, d'après le même procédé que les ba-

teaux du type anglais, et renferment des caisses à air qui assurent leur insubmersibilité ; mais elles ne sont pas construites de manière à pouvoir se redresser spontanément. La légèreté et la stabilité sont considérées comme des conditions essentielles dans ces parages.

En Allemagne, il existe trois types de bateaux à redressement spontané, nous ne mentionnerons que celui qui est généralement adopté. Il se rapproche beaucoup du type anglais; on peut signaler cependant les différences suivantes : le canot est construit en bordages longitudinaux et non en acajou croisé ; il n'a pas de quille en fer, mais le milieu de la cale est occupé, sur une longueur de 5 mètres, par une caisse remplie d'eau destinée à servir de lest. Cette caisse est traversée par six puits de décharge, munis de soupapes automotrices. La caisse à eau se remplit et se vide au moyen d'une soupape communiquant avec la mer. La stabilité paraît un peu supérieure à celle des canots anglais, mais ces derniers se vident en moins de temps ; le tirant d'eau du bateau allemand est de 0,70 au lieu de 0,45. Le poids de l'embarcation est, en outre, plus considérable.

Deux autres canots de sauvetage à redressement spontané ont été présentés. Le premier, construit par M. Lahure, du Havre, est entièrement en tôle d'acier. Ce canot frappe par son aspect de légèreté, le peu d'élévation de ses tambours, avant et arrière, la finesse de ses extrémités et les lignes verticales de l'étrave et de l'étambot. Le pont est en tôle fermé par des plaques autoclaves. La cale et les deux tambours extrêmes sont étanches et assurent l'insubmersibilité. L'évacuation de l'eau s'effectue par des dalots disposés de chaque côté sur deux rangs. La quille, formée par des feuilles de tôle formant un long tube rempli de goudron, sert de lest. Des caisses à air très-larges viennent affleurer les dalots de la rangée supérieure.

Une seconde embarcation porte le nom de M. Moué, du Havre ; la force de redressement est plus énergique dans cette embarcation que dans les autres ; cela tient à ce que, au dessus

du pont un seul des côtés est muni de caisses à air, s'étendant entre les deux tambours. Il en résulte que l'embarcation chavirée, la quille en l'air, ne se trouve pas en équilibre et se redresse très-vivement. Cette idée de caisses à air d'un seul bord conduira peut-être à la solution du problème des bateaux de sauvetage à fond plat, dont l'emploi serait très-utile sur certaines parties des côtes.

Bien que la Société des *Life-Boats* attache, avec raison, une très-grande importance au redressement spontané, elle emploie cependant, sur les côtes où les naufrages se produisent à de grandes distances de terre, des voiliers d'un type remarquable. Ces embarcations ont 13 mètres de long sur 3m35 de large et un mètre de creux; l'étrave et l'étambot sont presque verticaux, le plat-bord n'a qu'une faible tonture, l'avant et l'arrière ne portent pas de tambours, et la plus grande partie du fond du navire est remplie d'eau en communication avec la mer. Dans de telles conditions, le bateau ne saurait se redresser, une fois chaviré ; mais, en revanche, muni d'un lest liquide aussi considérable, il possède une stabilité et un poids tel qu'il peut être considéré comme presque inchavirable, même dans les plus forts brisants.

La Société des *Life-Boats* possède cinq stations pourvues de ces bateaux. Elle les considère comme excellents et sûrs, à la condition d'être manœuvrés par des marins très-habiles. Elle recommande de ne les employer que sous cette réserve et dans des parages où les life-boats à redressement ne pourraient accomplir leur mission.

Il importe que les canots de sauvetage soient constamment tenus en état de prendre la mer, et qu'on puisse rapidement les transporter à proximité du navire en détresse, et les lancer sur toutes les plages et par tous les temps. Afin d'obtenir ce résultat, le canot est toujours monté sur un chariot. Ce véhicule comprend un corps et un avant-train ; le corps représente une sorte de bec reposant sur un essieu fortement cintré, que supportent deux grandes roues. L'avant-train, dans le

chariot anglais, comprend deux roues établies de la même manière que les grandes roues. Cet avant-train, dans le chariot français, n'a qu'une roue située sous les longrines.

Bateaux de sauvetage pour les navires. — L'Exposition de l'Amirauté Anglaise renferme deux spécimens très-remarquables de bateaux de sauvetage pour les bâtiments. En Angleterre, les règlements obligent tous les paquebots à avoir un certain nombre de canots de sauvetage. Les canots affectés à cet usage jusqu'ici, étaient fort insuffisants ; leur seule propriété était l'insubmersibilité obtenue au moyen de caisses à air. L'amirauté anglaise a fait faire un grand pas à cette question. Elle a présenté deux canots, bordant l'un dix avirons à couples, l'autre six avirons en pointe, et disposés de manière à pouvoir être employés au service ordinaire du bord, tout en offrant, en cas de mauvais temps, autant de sécurité à l'équipage qu'un véritable life-boat. Le redressement spontané est obtenu au moyen de caisses mobiles placées à l'avant et à l'arrière, et retenues par des brides en fer. Ces caisses sont mises en place, lorsqu'on veut se servir des canots par un gros temps. La Compagnie transatlantique française se propose de munir de caisses semblables les canots de sauvetage de ses paquebots.

M. White, constructeur anglais, a exposé un grand nombre de modèles d'embarcations insubmersibles pour navires de commerce et bateaux de plaisance. Il est l'auteur d'un type unique et entièrement nouveau d'embarcations à vapeur insubmersibles, qui paraissent appelées à rendre de grands services.

Porte-amarres. — Le porte-amarres a pour but d'établir un va-et-vient entre le navire ou la barque en détresse et le rivage. Il consiste dans un projectile ou une fusée entraînant, sans la rompre, une corde suffisamment résistante.

En Angleterre, on fait usage d'un petit mortier du poids de 70 kilogrammes, désigné sous le nom de mortier Manby. On

paraît préférer cependant un appareil à fusées plus facile à manœuvrer, mais le tir et la conservation en sont difficiles; l'emploi de ce moyen est en outre dispendieux : chacune de ces fusées coûte 25 francs. En Danemark, on se sert également de fusées. En France, on n'a pas admis les fusées; on a successivement expérimenté plusieurs types de porte-amarres; celui de M. Delvigne a paru réunir le plus de conditions de succès. Ce système a été adopté par la Société centrale de sauvetage; il repose sur l'emploi de flèches lancées par une arme à feu. Il fallait trouver un mode d'attache qui permît de fixer la ligne à la flèche sans que cette ligne rompît. Le principe du coulant et de la bague appliqués à cet engin a complétement réussi. Des expériences nombreuses ont constaté qu'une flèche en métal, pesant plusieurs kilogrammes, se comportait aussi bien qu'une flèche en bois pesant 200 grammes. Grâce à l'ingénieuse application de M. Delvigne, la flèche porte-amarre en bois ou en métal est lancée par trois espèces de bouches à feu : les carabines ou les mousquetons de la douane, l'espingole et le pierrier, selon les portées que l'on veut obtenir. Les carabines et les mousquetons lancent les flèches à 70 mètres environ, l'espingole à 180 mètres, le pierrier atteint 330 mètres. Le service de cette artillerie de sauvetage est confié aux agents de la douane.

Appareils divers. — Divers engins de sauvetage ont en outre frappé l'attention. Au nombre des radeaux, nous citerons celui du capitaine Perry (États-Unis); ce radeau est composé de sacs cylindriques en toile caoutchoutée, sur lesquels on place un châssis en bois. Cet appareil a l'avantage de tenir très-peu de place à bord et d'être facilement transportable.

Ceintures. — Parmi les divers modèles de ceintures, deux sont à remarquer. L'une, imaginée par le capitaine Ward, de la Société des Life-Boats; l'autre, par M. Tisserand, de France.

La première a été admise par les sociétés de sauvetage anglaises et françaises, la seconde a été rendue réglementaire à bord des navires de la marine impériale de France. Ces engins, peu coûteux, sont d'une très-grande utilité et sont répandus par milliers sur tout le littoral des deux pays.

Cordes, ancres flottantes, etc. — A côté des ceintures, nous mentionnerons l'appareil Torrès. Cet appareil est composé d'une corde de 5 à 7 mètres, terminée à l'une de ses extrémités par une bouée en liége et par un œil garni dans toute sa longueur de cabillots en bois. Le prix en est très-minime, et son emploi rend journellement des services très-grands dans les ports. Les accessoires des bateaux de sauvetage renferment un petit appareil, dit ancre flottante, sorte de cône en toile muni de cerceaux qui, mis à la traîne derrière une embarcation, l'empêche d'être jetée en travers et roulée par les lames. Il serait à désirer que tous les bateaux de pêche fussent munis de cet engin, peu coûteux et peu encombrant.

Il reste à dire un mot des engins destinés à faciliter la mise à l'eau des embarcations par un gros temps. Le problème de cette mise à l'eau intéresse essentiellement la navigation ; un grand nombre d'accidents sont, en effet, la conséquence de l'insuffisance des engins employés à bord pour cette opération.

Cinq appareils ont été présentés à l'Exposition : l'un porte le nom de MM. Brown et Level et appartient à l'Amérique ; les quatre autres, désignés par les noms de leurs inventeurs, MM. Clifford, Kynaston, May et Rogers, sont anglais.

Le système Brown et Level et l'appareil Clifford sont généralement appliqués, l'un en Amérique et l'autre en Angleterre ; les trois autres sont moins répandus. Le premier repose sur un système de décrochement fort ingénieux ; le second sur un système de poulie qui permet à un seul homme, placé dans l'embarcation, de l'amener. En France, on a expérimenté différents systèmes ; aucun n'est encore définitivement entré dans la pratique.

SECTION VI

ARSENAUX ET ÉTABLISSEMENTS DE LA MARINE MILITAIRE [1]

PAR M. PASQUIER-VAUVILLIERS.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les travaux exécutés dans les arsenaux de la marine militaire se partagent en travaux hydrauliques et travaux des bâtiments civils.

Les travaux hydrauliques ou travaux à la mer sont analogues à ceux des ports de commerce.

Les travaux des bâtiments civils comprennent des travaux de voirie, tels que chaussées, égouts, conduites d'eau et de gaz, et des constructions civiles et militaires, telles que magasins, ateliers, bureaux, casernes, hôpitaux, etc.

Les chiffres suivants, qui représentent en nombres ronds la valeur estimative de l'ensemble des constructions de toute nature qui constituent aujourd'hui les arsenaux de la marine française, donnent une idée de l'importance de ces divers travaux :

(1) M. Pasquier-Vauvilliers, qui ne s'était pas chargé d'abord de ce rapport supplémentaire, a bien voulu le rédiger pendant l'impression même des dernières feuilles de ce volume. Nous avons été assez heureux pour pouvoir le placer à la fin de la classe 66.

perdraient un temps précieux dans les manœuvres qu'exigerait la sortie, surtout dans l'Océan, où par l'effet des marées les entrées de la plupart des ports ne sont accessibles aux grands bâtiments qu'au moment de la haute mer. Une flotte n'est donc réellement disponible, c'est-à-dire prête à obéir immédiatement à un ordre de départ, que mouillée en rade. Aussi, toutes les fois que l'existence d'une rade naturelle n'a pas déterminé la position du port militaire, comme à Toulon, à Brest et à Portsmouth, on a dû, comme à Cherbourg et à Plymouth, créer avant tout ce complément indispensable d'un arsenal maritime.

De même, on trouve toujours une rade abritée à proximité, en dedans ou en dehors, de l'embouchure des rivières profondes, sur lesquelles des arsenaux ont été installés. C'est ainsi qu'à la sortie de la Charente, on rencontre à l'île d'Aix et aux Trousses les deux rades de Rochefort ; à Port-Louis, dans le Scorff, la rade de Lorient ; à Sherness et dans la Tamise, le mouillage du port de Chatham établi sur la Medway.

On doit enfin faire remarquer que les ports de commerce, même ceux de médiocre importance, ont des bassins à flot, tandis qu'aucun ouvrage de ce genre n'existe, en France, dans les arsenaux de la marine militaire.

Un bassin à flot a été construit à Cherbourg, mais il n'a jamais été utilisé que comme annexe de l'avant-port.

Cependant les Anglais adoptent cette disposition pour leurs ports de guerre, et ils construisent actuellement à Portsmouth trois bassins à flot, qui auront ensemble une superficie de 21 hectares, et à Chatham trois bassins semblables, qui auront ensemble une superficie de 29 hectares.

A Portsmouth, les bassins sont précédés d'un avant-port qui sera creusé à la profondeur de $9^{m}25$ au-dessous des plus basses mers et constituera une souille dans laquelle les plus grands bâtiments seront à flot à toute heure de marée.

A Chatham, un sas mettra les bassins en communication avec le lit de la Medway, qui, au moyen de quelques dragages,

deviendra, même aux plus faibles marées de mortes eaux, accessible aux plus grands bâtiments.

CHAPITRE III.

BATIMENTS CIVILS DES ARSENAUX.

§ 1. — Considérations générales.

Dans les ports de commerce, aucune dépendance ne se rattache aux ouvrages hydrauliques qui sont exécutés par l'État.

Les moyens de construction et de réparation et les approvisionnements de toute nature que nécessitent les armements du commerce sont fournis par l'industrie privée, au fur et à mesure des besoins. Ces besoins, d'ailleurs, se reproduisent périodiquement chaque année et à des époques qui peuvent être prévues à l'avance.

L'industrie pourvoit de même à la construction et à l'exploitation du matériel et des magasins qu'exigent la manutention et la conservation des marchandises.

Il n'en est pas de même des ports de guerre ; à chacun d'eux se rattachent des dépendances d'une importance considérable. On voit, en effet, par ce qui a été dit précédemment, que pour les ports de guerre français, la valeur estimative de ces dépendances (1) s'élève à 169 millions de francs ; elle dépasse notablement celle des ouvrages hydrauliques qui, si l'on fait abstraction des dépenses afférentes à la construction de la digue de Cherbourg et des ouvrages de défense qui s'y rattachent, s'élève à 122 millions de francs.

Indépendamment des constructions affectées à un service militaire, c'est-à-dire des casernes des troupes de la marine et des marins des équipages de la flotte, des hôpitaux et autres établissements analogues à ceux que le service de la guerre

(1) Les bâtiments civils des cinq ports de guerre français occupent ensemble une suface couverte de plus de 700,000 mètres

construit et entretient dans les places fortes, les dépendances comprennent d'immenses magasins où sont conservés en approvisionnement le matériel de tout genre, les vivres et les munitions de guerre nécessaires à l'armement à bref délai et au ravitaillement ultérieur des bâtiments de la flotte; elles comprennent, en outre, des ateliers de toute espèce au moyen desquels la marine militaire construit elle-même ses plus grands bâtiments, et serait en mesure de pourvoir très-rapidement à la réparation des avaries les plus graves dans les coques, les machines, le matériel d'armement et le matériel de guerre.

Les dépendances des ports de guerre n'ont pas toujours eu un développement aussi considérable que celui qu'elles ont acquis de nos jours, par suite des progrès de l'industrie et des modifications qui ont été apportées au matériel de la marine militaire.

En 1830, les ateliers à métaux des arsenaux de la marine se réduisaient à quelques feux de forge; tous les travaux dans les ateliers s'exécutaient à bras d'homme; la flotte se composait exclusivement de bâtiments à voiles.

A partir de cette époque, des machines motrices et des machines-outils ont été successivement introduites dans les arsenaux, et aujourd'hui tous les ateliers des ports de guerre sont dotés du puissant outillage qu'exigent la construction et l'entretien d'une flotte de combat exclusivement composée de bâtiments à vapeur à grande vitesse et fortement cuirassés.

Une revue rapide des divers établissements de la marine française, indiquant le caractère spécial de chacun d'eux, les transformations qu'ils ont subies et les améliorations qui y ont été introduites, permettra, du reste, d'apprécier les travaux accomplis pendant ces dernières années.

§ 2. — Arsenal de Cherbourg.

L'arsenal de Cherbourg est de création récente; jusqu'en

1840, il est resté limité par une enceinte fortifiée d'une étendue très-restreinte, construite à titre provisoire au commencement du premier empire.

Les magasins et ateliers de ce port se composaient alors uniquement de constructions provisoires élevées à la fin du siècle dernier pour la construction des cônes de la digue.

En 1840, la rade de Cherbourg n'était pas abritée, la digue n'était encore, sur la plus grande partie de sa longueur, qu'un écueil sous-marin dont quelques points seulement émergeaient à basse mer.

A partir de cette époque, une grande activité a été imprimée aux travaux ; l'achèvement de la digue a été poursuivi ; l'enceinte de l'arsenal a été agrandie; des constructions importantes, savoir : le magasin général, la garniture, les casernes, les ateliers à bois et à métaux, les ateliers et magasins de l'artillerie, l'établissement des vivres, etc., ont été élevées autour de l'avant-port et des deux bassins. Un hôpital, qui contiendra 1,100 lits, est en voie d'exécution; il remplacera une ancienne abbaye qui sert aujourd'hui d'hôpital provisoire. Tous ces bâtiments sont en maçonnerie. Les plus anciens comportent des planchers et des charpentes en bois; dans les plus récents, le fer a été employé à la construction des planchers et des charpentes.

En général, on n'a trouvé à Cherbourg aucune difficulté pour la fondation des édifices de l'arsenal. Tous sont fondés sur le rocher, sauf toutefois l'établissement des subsistances, qui a dû être assis sur des pieux dans presque toute son étendue. Les dessins de cet édifice ont figuré à l'Exposition Universelle; ils donnent une idée du mode de construction adopté pour les établissements de l'arsenal de Cherbourg.

Bien que l'arsenal soit encore incomplet, la valeur estimative des bâtiments qu'il renferme est considérable, relativement à celle des constructions similaires des autres ports. Cela tient, en grande partie, à ce que ces bâtiments étant de construction récente, leur prix de revient est plus élevé que

construit et entretient dans les places fortes, les dépendances comprennent d'immenses magasins où sont conservés en approvisionnement le matériel de tout genre, les vivres et les munitions de guerre nécessaires à l'armement à bref délai et au ravitaillement ultérieur des bâtiments de la flotte ; elles comprennent, en outre, des ateliers de toute espèce au moyen desquels la marine militaire construit elle-même ses plus grands bâtiments, et serait en mesure de pourvoir très-rapidement à la réparation des avaries les plus graves dans les coques, les machines, le matériel d'armement et le matériel de guerre.

Les dépendances des ports de guerre n'ont pas toujours eu un développement aussi considérable que celui qu'elles ont acquis de nos jours, par suite des progrès de l'industrie et des modifications qui ont été apportées au matériel de la marine militaire.

En 1830, les ateliers à métaux des arsenaux de la marine se réduisaient à quelques feux de forge; tous les travaux dans les ateliers s'exécutaient à bras d'homme ; la flotte se composait exclusivement de bâtiments à voiles.

A partir de cette époque, des machines motrices et des machines-outils ont été successivement introduites dans les arsenaux, et aujourd'hui tous les ateliers des ports de guerre sont dotés du puissant outillage qu'exigent la construction et l'entretien d'une flotte de combat exclusivement composée de bâtiments à vapeur à grande vitesse et fortement cuirassés.

Une revue rapide des divers établissements de la marine française, indiquant le caractère spécial de chacun d'eux, les transformations qu'ils ont subies et les améliorations qui y ont été introduites, permettra, du reste, d'apprécier les travaux accomplis pendant ces dernières années.

§ 2. — Arsenal de Cherbourg.

L'arsenal de Cherbourg est de création récente; jusqu'en

§ 4. — Arsenal de Lorient.

La plus grande partie des constructions de l'arsenal de Lorient a été élevée par la Compagnie des Indes, qui, en 1770, a définitivement cédé à l'État son port, ses établissements, son matériel naval et ses approvisionnements. Alors, comme aujourd'hui, l'arsenal s'étendait sur les deux rives du Scorff, dont le lit constitue le port proprement dit. Sur la rive droite sont groupés les casernes, les magasins et ateliers de l'arsenal; sur la rive gauche, les chantiers de construction.

Les établissements réinstallés ou nouvellement construits sont : sur la rive droite, les ateliers à bois et à métaux; sur la rive gauche, un atelier pour la construction des bâtiments en fer.

Ces constructions nouvelles sont du reste d'une très-grande simplicité.

Sur certains points de l'arsenal, l'épaisseur de la couche de vase qui recouvre le rocher a donné lieu, surtout pour les ouvrages hydrauliques, à des difficultés de fondation. Le modèle des fondations des piles du pont de Caudan, qui relie les parties des deux rives du Scorff occupées par l'arsenal de Lorient, indique les divers modes de fondation en usage dans ce port.

§ 5. — Arsenal de Rochefort.

L'arsenal de Rochefort est établi sur la rive droite de la Charente, à 20 kilomètres environ de son embouchure. Le lit de la rivière constitue le port.

Rochefort fut créé port militaire en 1666; quelques années après, d'importantes constructions, notamment la corderie, le magasin général, l'établissement des subsistances et une fonderie de canons, étaient mises en service.

Aujourd'hui l'arsenal occupe la rive droite du fleuve sur une longueur de 1,900 mètres.

L'hôpital, dont les dispositions méritent d'être remarquées, date du siècle dernier.

Parmi les constructions récentes, les plus importantes sont : le groupe des ateliers à métaux, les bâtiments de la direction d'artillerie et la caserne des marins.

Enfin, il convient de citer les travaux de forage artésien exécutés dans l'enceinte de l'hôpital. Ce forage a été poussé jusqu'à la profondeur de 876 mètres. L'eau a été rencontrée à 816 mètres au-dessous du niveau de la mer; elle a jailli pendant plusieurs jours, mais, depuis, son niveau s'est abaissé; sa température était de 41 degrés. Il est probable que le tubage s'est fissuré et que les eaux se perdent dans les couches de sables verts que l'on a rencontrées à une petite profondeur du sol; on s'occupe de l'installation d'une colonne d'ascension étanche.

La fondation des édifices présente à Rochefort de très-sérieuses difficultés. Le rocher est souvent à une profondeur que les pieux ne peuvent atteindre; on donne alors aux pilots la plus grande longueur possible, et on limite leur charge à un poids inférieur à celui qui déterminerait leur enfoncement. Ces difficultés de fondation deviennent très-sérieuses pour les édifices dans lesquels on doit établir de puissantes machines susceptibles d'imprimer aux maçonneries de fortes vibrations.

§ 6. — Arsenal de Toulon.

Toulon est le plus ancien de nos arsenaux maritimes : la vieille darse existait dès l'année 1610. Un siècle plus tard on construisait la nouvelle darse, ainsi que la plus grande partie des bâtiments qui l'entourent.

En 1836, on reconnut la nécessité d'agrandir l'arsenal, encore limité par ses anciennes fortifications, et l'on créa à l'est de la petite rade le chantier de construction de Mourillon.

En 1853, les terrains de Castigneau furent ajoutés à l'arsenal, et une nouvelle darse fut ouverte; enfin, cet agrandis-

sement n'ayant pas été jugé suffisant, des travaux ont été entrepris et s'exécutent aujourd'hui, dans le but d'étendre jusqu'au fort Malbousquet l'enceinte fortifiée du port, de réunir à l'arsenal les terrains de Missiessy et d'ouvrir sur cet emplacement une quatrième darse.

Sur les quais de la nouvelle darse de Castigneau, on a construit des ateliers de machines de la même importance que ceux du plateau des Capucins à Brest. Le grand appareil de transbordement et de mâtage, dont le modèle a figuré à l'Exposition, se rattache à ces ateliers.

Sur ces mêmes quais, on poursuit la construction d'un établissement pour les subsistances, qui doit occuper une superficie totale de 24,000 mètres, presque double de celle qu'occupe l'établissement de Cherbourg. Les dimensions et l'outillage de l'établissement des subsistances de Toulon doivent être réglés en vue de la fabrication de 50,000 rations, au moins, par jour.

Le dérasement des anciennes fortifications a, d'ailleurs, rendu disponibles, dans l'enceinte de l'ancien arsenal, des emplacements dont on a profité pour améliorer et développer certains ateliers, et notamment ceux du service de l'artillerie.

L'hôpital Saint-Mandrier, construit de 1830 à 1840 sur la rive sud de la grande rade, doit être cité pour ses bonnes dispositions.

Les terrains sur lesquels est établi l'arsenal de Toulon étaient autrefois des marais, qui se sont successivement élevés par alluvion ; la fondation des édifices exige donc des précautions spéciales.

Les constructions importantes sont maintenant élevées sur des radiers généraux en béton, dont l'épaisseur est proportionnée aux poids à supporter, et qui reposent sur des pieux dont la tête est empâtée dans le béton du radier.

Ce mode de fondation a été appliqué aux nouvelles constructions de Castigneau ; il a donné d'excellents résultats.

CHAPITRE IV.

USINES DE LA MARINE.

Aux arsenaux de la marine se rattachent des usines situées à l'intérieur de l'Empire; elles sont dirigées, soit par le service des constructions navales, soit par le service de l'artillerie de marine.

Les usines dirigées par le service des constructions navales sont : l'usine d'Indret (Loire-Inférieure), qui, créée il y a trente ans environ pour la construction des chaudières et des machines alors en usage, a dû accroître ses moyens de fabrication et de production à raison de l'augmentation de la puissance des machines des bâtiments de la flotte; les usines de la Chaussade (Nièvre), qui, primitivement établies pour la fabrication des câbles-chaînes et des ancres, ont dû, tout récemment, recevoir l'outillage nécessaire à la préparation des plaques de blindage.

Par suite de ces nouvelles exigences, les ateliers de ces usines ont reçu un accroissement considérable, et aujourd'hui l'ensemble des constructions de ces deux établissements représente une valeur de plus de 9 millions de francs.

Les usines dirigées par les services de l'artillerie sont : les fonderies de Ruelle (Charente), de Nevers (Nièvre) et de Saint-Gervais (Isère), qui ont dû être mises en état de fabriquer les nouveaux types de canons et d'affûts adoptés pour le service de la flotte.

L'étendue des ateliers, et par suite la puissance de production de ces fonderies, a été plus que doublée.

CHAPITRE V.

TRAVAUX HYDRAULIQUES ET BATIMENTS CIVILS DES COLONIES.

Le département de la marine possède dans toutes les colonies des établissements particuliers. Toutefois, aucun d'eux n'a le caractère d'un arsenal permanent.

Les constructions sont le plus souvent établies à faux frais, et uniquement en vue de satisfaire aux besoins du moment.

On poursuit cependant à Saïgon la construction d'ateliers d'une certaine importance au moyen desquels on pourra, avec le secours de petits bassins de raboub en bois et d'un dock flottant, pourvoir à la réparation des canonnières et des bâtiments dont le poids ne dépassera pas 4,000 tonnes.

La marine a, en outre, contribué dans une large proportion à l'exécution de travaux à la mer dont les colonies ont été dotées pendant les dernières années.

Parmi ces travaux, il convient de citer :

A la Martinique, une forme de radoub en maçonnerie de 130 mètres de longueur et 9 mètres de profondeur, qui aura coûté, y compris le bateau-porte et les machines d'épuisement, 3,800,000 francs.

A Dakar (Sénégal), un môle en enrochements de 360 mètres de longueur, qui assure un abri aux paquebots de la ligne du Brésil et aux bâtiments de guerre de la station.

A la Réunion, le port de Saint-Pierre, encore inachevé, qui se composera de jetées en blocs naturels de basalte de 10 à 15 mètres cubes, couronnées par des massifs en maçonnerie.

A Pondichéry, une estacade, ou pier, élevée sur des palées formées par des pieux à vis en fer ; la longueur totale de cette estacade est de 188 mètres ; son extrémité est en dehors des brisants de la côte si dangereux de ces parages, en sorte qu'aujourd'hui le chargement et le déchargement des mar-

chandises s'opère en toute sécurité à l'extrémité du pier. L'établissement de cet ouvrage, si important pour l'avenir de la colonie, aura coûté 500,000 francs.

Enfin, avec le concours du service des phares et balises de la métropole, le département de la marine a pourvu à l'éclairage des côtes de nos colonies. Les constructions les plus remarquables exécutées pour ce service sont les phares de premier ordre établis à la Nouvelle-Calédonie sur l'îlot Amède, e en Cochinchine à l'entrée de la rivière de Saïgon.

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

En résumé, les principales modifications apportées depuis vingt ans à l'état des arsenaux et autres établissements de la marine ont été motivées par la transformation du matériel naval. Ces modifications, qui ont nécessité une extension de la superficie des arsenaux, sont caractérisées, en ce qui concerne les travaux hydrauliques, par l'augmentation des dimensions des ouvrages hydrauliques, par l'accroissement et l'amélioration des moyens de visiter et de réparer les bâtiments à flot, et, en ce qui concerne les bâtiments civils, par la création de grands ateliers à métaux, qui ont été organisés de telle sorte que la réparation des plus graves avaries dans les coques, les cuirasses et les machines peut être exécutée aussi rapidement que possible.

Les autres dépendances des ports de guerre, c'est-à-dire les établissements qui constituaient les arsenaux dans leur état ancien, ont été aussi modifiées : on a amélioré les conditions hygiéniques des casernes et des hôpitaux ; on a introduit dans tous les ateliers des machines motrices et des machines-outils qui ont augmenté leur puissance de production ; on a transformé les magasins en vue de mieux assurer la conservation

des approvisionnements, de rendre les délivrances plus promptes et la surveillance plus facile; mais, en somme, ces améliorations sont de même ordre que celles que l'on constate dans les ateliers similaires de l'industrie; elles n'ont pas modifié le caractère spécial de ces établissements, et répondaient d'ailleurs à des besoins constatés, pour la plupart, depuis longtemps.

Les arsenaux de toutes les puissances maritimes ont subi des transformations analogues, particulièrement en Angleterre, où, après avoir doté les anciens établissements de toutes les améliorations dont ils étaient susceptibles, on poursuit activement à Portsmouth et à Chatham l'exécution de travaux d'agrandissement qui ont pour but exclusif l'accroissement des moyens de visite et de réparation des coques des bâtiments à flot, que possédaient déjà ces arsenaux, et la création de vastes ateliers de construction et de réparation pour les machines. Ces importants travaux sont évalués à 67 millions de francs.

---

chandises s'opère en toute sécurité à l'extrémité du pier. L'établissement de cet ouvrage, si important pour l'avenir de la colonie, aura coûté 500,000 francs.

Enfin, avec le concours du service des phares et balises de la métropole, le département de la marine a pourvu à l'éclairage des côtes de nos colonies. Les constructions les plus remarquables exécutées pour ce service sont les phares de premier ordre établis à la Nouvelle-Calédonie sur l'îlot Amède, e en Cochinchine à l'entrée de la rivière de Saïgon.

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

En résumé, les principales modifications apportées depuis vingt ans à l'état des arsenaux et autres établissements de la marine ont été motivées par la transformation du matériel naval. Ces modifications, qui ont nécessité une extension de la superficie des arsenaux, sont caractérisées, en ce qui concerne les travaux hydrauliques, par l'augmentation des dimensions des ouvrages hydrauliques, par l'accroissement et l'amélioration des moyens de visiter et de réparer les bâtiments à flot, et, en ce qui concerne les bâtiments civils, par la création de grands ateliers à métaux, qui ont été organisés de telle sorte que la réparation des plus graves avaries dans les coques, les cuirasses et les machines peut être exécutée aussi rapidement que possible.

Les autres dépendances des ports de guerre, c'est-à-dire les établissements qui constituaient les arsenaux dans leur état ancien, ont été aussi modifiées : on a amélioré les conditions hygiéniques des casernes et des hôpitaux ; on a introduit dans tous les ateliers des machines motrices et des machines-outils qui ont augmenté leur puissance de production ; on a transformé les magasins en vue de mieux assurer la conservation

TABLE DES MATIÈRES

DU

TOME DIXIÈME.

GROUPE VI

INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS DES ARTS USUELS.

(Suite.)

CLASSE 64

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA TÉLÉGRAPHIE.

SECTION I.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA TÉLÉGRAPHIE,

PAR M. ED. BECQUEREL.

CHAPITRE I.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

Pages.

§ 1. Télégraphes indicateurs 5
§ 2. Télégraphes enregistreurs 7
§ 3. Télégraphes imprimeurs 8
§ 4. Télégraphes autographiques 12
§ 5. Appareils divers, rhéostats, sonneries, etc 13

CHAPITRE II.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

§ 1. Piles diverses 15
§ 2. Piles de polarisation 1
§ 3. Appareils d'induction 1

TABLE DES MATIÈRES

DU

TOME DIXIÈME.

GROUPE VI

INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS DES ARTS USUELS.

(Suite.)

CLASSE 64

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA TÉLÉGRAPHIE.

SECTION I.

APPLICATION DE L'ÉLECTRICITÉ A LA TÉLÉGRAPHIE,

PAR M. ED. BECQUEREL.

CHAPITRE I.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

Pages.

§ 1. Télégraphes indicateurs 5
§ 2. Télégraphes enregistreurs 7
§ 3. Télégraphes imprimeurs 8
§ 4. Télégraphes autographiques 12
§ 5. Appareils divers, rhéostats, sonneries, etc 13

CHAPITRE II.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

§ 1. Piles diverses 15
§ 2. Piles de polarisation 1
§ 3. Appareils d'induction 1

CHAPITRE III.

Pages.
CONDUCTEURS. — CÂBLES..... 20

CHAPITRE IV.

MATÉRIEL DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES. — SYSTÈME PNEUMATIQUE. — SUPPORTS. — DISPOSITIONS DIVERSES ET ACCESSOIRES..... 23

Conclusion..... 27

SECTION II.

POSE DU CABLE TRANSATLANTIQUE,

PAR M. DE VOUGY.

Premières tentatives..... 29
Câble du premier essai..... 30
Great-Eastern..... 31
Le Terrible et le Sphinx..... 31
Compagnie du télégraphe anglo-américain..... 32
État actuel des communications télégraphiques du monde..... 35
Tableau de l'étendue du réseau de l'Europe..... 36

SECTION III.

APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ CONSIDÉRÉE AU POINT DE VUE DYNAMIQUE,

PAR M. ED. BECQUEREL.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 37

CLASSE 65

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DU GÉNIE CIVIL, DES TRAVAUX PUBLICS ET DE L'AGRICULTURE.

SECTION I.

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION,

PAR M. DELESSE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 45

CHAPITRE I.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES.

Pages.

§ 1. Résistance des matériaux de construction..... 46
Tableau de la résistance des pierres..... 48
§ 2. Coloration des matériaux de construction..... 49

CHAPITRE II.

MATÉRIAUX NATURELS.

§ 1. Pierres dures..... 51
Jaspes de Saint-Gervais..... 52
§ 2. Marbres..... 54
§ 3. Marbres d'Algérie..... 57
Marbres onyx..... 57
Marbres divers..... 58
§ 4. Note additionnelle sur l'emploi des marbres..... 61

CHAPITRE III.

MATÉRIAUX ARTIFICIELS.

§ 1. Ciment Portland..... 66
§ 2. Ciment Vicat..... 71
§ 3. Chaux hydrauliques..... 74
§ 4. Béton aggloméré..... 76
§ 5. Ciment d'oxychlorure de magnésium..... 80
§ 6. Ciment ferrugineux..... 84
§ 7. Similipierre, similimarbre..... 86
§ 8. Pierres fabriquées par voie humide..... 88
Pierre artificielle de Ransome..... 88
Pierre artificielle à base de chaux..... 89
§ 9. Pierres fabriquées par voie sèche..... 90
Laitiers cristallins..... 90
§ 10. Composés bitumineux..... 92

SECTION II.

TERRES CUITES ET POTERIES..... 95

PAR M. E. BAUDE.

SECTION III.

MATERIEL DES TRAVAUX DU GÉNIE CIVIL ET DE L'ARCHITECTURE,

PAR M. VIOLLET-LE-DUC.

CHAPITRE I.

MATÉRIEL DES CHANTIERS.

§ 1. Considérations générales..... 100

Pages.
§ 2. Engins propres à élever les matériaux..... 102
§ 3. Taille des pierres..... 105
§ 4. Outillage à la main..... 110

CHAPITRE II.

CHARPENTERIE, MENUISERIE.

§ 1. Considérations générales..... 112
§ 2. Façonnage mécanique..... 113
§ 3. Constructions orientales..... 115

CHAPITRE III.

SERRURERIE APPLIQUÉE AUX BATIMENTS.

§ 1. Grandes pièces..... 116
§ 2. Progrès récents de la ferronnerie..... 117
§ 3. Tôles embouties..... 119
§ 4. Fonte de fer..... 120

CHAPITRE IV.

COUVERTURE ET PLOMBERIE.

§ 1. Couvertures..... 121
§ 2. Zinc..... 123
§ 3. Cartons bitumés..... 125

CHAPITRE V.

VITRERIE DES BATIMENTS..... 126

CHAPITRE VI.

SERRURERIE FINE, COFFRES-FORTS, SERRURES, QUINCAILLERIE.

§ 1. Serrurerie décorative..... 127
§ 2. Coffres-forts..... 130
§ 3. Inventions mécaniques..... 133
§ 4. Quincaillerie..... 134
§ 5. Menuiserie de fer..... 135
§ 6. Serrurerie d'art..... 135

CHAPITRE VII.

CARRELAGES, REVÊTEMENTS, PEINTURE ET GYPSERIE.

§ 1. Carrelages et revêtements..... 136
§ 2. Peinture en bâtiments, gypserie décorative..... 137

SECTION IV.

ROUTES ET PONTS, NAVIGATION INTÉRIEURE, FONDATIONS ET OPÉRATIONS DIVERSES,

PAR M. E. BAUDE.

Pages.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 140

CHAPITRE I.

ROUTES 141

Tableau des voies de communication 144
Entretien 148

CHAPITRE II.

PONTS ET VIADUCS EN MAÇONNERIE.

§ 1. Ponts 149
Ponts de Paris 150
Pont Napoléon, à Saint-Sauveur (Hautes-Pyrénées) 150
Pont d'Albi (Tarn) 151
Pont de Tilsitt, à Lyon (Rhône) 151
Pont de Chalonnes (Maine-et-Loire) 152
§ 2. Viaducs en maçonnerie 152
Pont-viaduc du Point-du-Jour 153
Viaduc de Morlaix 154
Viaduc de Châteaulin 155
Viaduc de la Fure 155
§ 3. Observations diverses sur les travaux en maçonnerie 156

CHAPITRE III.

PONTS ET VIADUCS MÉTALLIQUES 159

§ 1. Poutres droites 159
France 163
Pont du Scorff, à Lorient 163
Pont de la place de l'Europe à Paris 163
Ponts de Billancourt 164
Angleterre 164
Allemagne 166
Russie 167
Etats-Unis 168
§ 2. Viaducs à piles métalliques 170
Tableau des viaducs 172
§ 3. Arcs métalliques 173
Ponts en fonte 174

Pages.

§ 4. Ponts suspendus 179
§ 5. Systèmes divers 181
§ 6. Ponts flottants, bacs 182
§ 7. Ponts tournants 183

CHAPITRE IV.

NAVIGATION INTÉRIEURE.

§ 1. Barrages 183
§ 2. Régularisation du lit des fleuves 189
§ 3. Inondations, réservoirs 191
§ 4. Canaux 195
§ 5. Ouvrages d'art divers 196
Pont-canal de l'Albe 196
Siphon de Mittersheim 196
Vanne Chaubart 197
Portes en tôle du canal Saint-Maurice 198
§ 6. Traction des bateaux 198
Système Bouquié 199

CHAPITRE V.

FONDATIONS, OPÉRATIONS DIVERSES.

§ 1. Fondations tubulaires et par l'air comprimé 201
§ 2. Dragages 204
§ 3. Pilotage 206
§ 4. Terrassements, opérations diverses; outillage 207
§ 5. Tunnels 209

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ 211

SECTION V.

PERCEMENT DU MONT CENIS,

PAR M. EDMOND HUET.

§ 1. But et historique de l'entreprise 215
§ 2. Dispositions générales du percement 218
§ 3. Travail du percement 219
Compression de l'air 220
Transmission de l'air comprimé 221
Exploitation de la roche 222
§ 4. Situation et marche des travaux 224
Mouvement annuel du percement 225

SECTION VI.

PERCEMENT DE L'ISTHME DE SUEZ,

PAR M. E. BAUDE.

Pages.

TABLEAU DE L'ABRÉVIATION DES DISTANCES..... 227

§ 1. Tracé du canal..... 228
§ 2. Matériel..... 231
§ 3. Situation financière..... 236

SECTION VII.

ALIMENTATION EN EAU ET ASSAINISSEMENT DES VILLES,

PAR M. EDMOND HUET.

CHAPITRE I.

TRAVAUX RELATIFS A L'ALIMENTATION EN EAU DES VILLES..... 240

§ 1. France..... 244
Paris..... 244
Aqueduc de dérivation des sources de la Dhuis..... 245
Usine hydraulique de Saint-Maur..... 246
Usine du quai d'Austerlitz..... 247
Lyon..... 248
Saint-Étienne..... 249
§ 2. Angleterre..... 250
Londres..... 250
Glasgow..... 252
Manchester..... 253
§ 3. États-Unis..... 253
Chicago..... 253
Washington..... 255
§ 4. Espagne..... 257
Madrid..... 257
§ 5. Autriche..... 259
Vienne..... 259
§ 6. Prusse..... 260
Berlin..... 260
§ 7. Régence de Tunis..... 261
Tunis..... 261

CHAPITRE II.

TRAVAUX, MATÉRIEL ET APPAREILS RELATIFS A LA DISTRIBUTION DES EAUX

§ 1. Réservoirs..... 262

Pages.

§ 2. Systèmes de filtrage ..... — . 265
Filtres naturels ..... — . 266
Filtres artificiels ..... — . 267
Filtres Vedel-Bernard ..... — . 268
Filtres en pierre ..... — . 268
Filtres Bourgeoise ..... — . 269
Filtres Burcq ..... — . 269
§ 3. Conduites de distribution ..... — . 270
Conduites en fonte, avec joints à bagues ..... — . 270
Conduites en fonte, avec joints à emboîtements précis 270
Conduites en fonte, avec joints en caoutchouc vulcanisé 270
Tuyaux Chameroy 271
Tuyaux en ciment de Grenoble 271
Tuyaux en terre cuite émaillée 271
Tuyaux anglais 271
Robinet d'arrêt 272
§ 4. De la distribution proprement dite 273
Service public 273
Service privé 274
§ 5. Utilisation, comme force motrice, de l'eau d'alimentation 277

CHAPITRE III.

TRAVAUX D'ÉGOUT ET DE DRAINAGE.

§ 1. Canalisation, travaux d'égouts 278
Paris 279
Londres 281
§ 2. Drainage des habitations et appareils hygiéniques 284

CHAPITRE IV.

CHAUSSÉES ET MATÉRIEL SERVANT A LEUR ENTRETIEN 287
Matériel d'entretien 291
Rouleau à vapeur 292
Balayeuse mécanique 292
Trottoirs 293
Voies plantées 294

SECTION VIII.

EMPLOI AGRICOLE DES EAUX D'ÉGOUT,

PAR M. MILLE.

§ 1. Exposé 295
§ 2. Irrigations de Valence 296
§ 3. Prairies du Milanais 297

Pages.
§ 4. Prairies d'Édimbourg..... 297
§ 5. Projet de Londres..... 298
§ 6. Études à Paris..... 299
§ 7. Résumé..... 303
§ 8. Boues et vidanges..... 304

SECTION IX.

TRAVAUX MARITIMES,

PAR M. CHARLES MARIN.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 306

CHAPITRE II.

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE DES PORTS..... 310

CHAPITRE III.

DIGUES ET MÔLES A LA MER..... 314
Tableau des principaux môles à la mer..... 316

CHAPITRE IV.

DIVERS PROCÉDÉS D'EXÉCUTION DE TRAVAUX SOUS-MARINS. — EMPLOI DES SCAPHANDRES..... 317

CHAPITRE V.

GRANDES ÉCLUSES ET FORMES DE RADOUB..... 325

CHAPITRE VI.

DÉSENGORGEMENT DES PORTS..... 329

CHAPITRE VII.

ENGINS MÉCANIQUES APPLIQUÉS DANS LES PORTS..... 331

CHAPITRE VIII.

CONSERVATION DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DANS L'EAU DE MER..... 333

SECTION X.

PHARES,

PAR M. LÉONCE REYNAUD.

CHAPITRE I.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES..... 33[illegible]

CHAPITRE II.

Pages.

APPAREILS D'ÉCLAIRAGE 340

Tableaux des divers appareils d'éclairage..... 347

CHAPITRE III.

MODES DE PRODUCTION DE LA LUMIÈRE..... 347

CHAPITRE IV.

CONSTRUCTION DES ÉDIFICES..... 350

CLASSE 66

SECTION I.

CALES ET BASSINS DE RADOUB, DOCKS FLOTTANTS, ETC.,

PAR M. PASQUIER-VAUVILLERS.

CHAPITRE I.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

§ 1. Cales de construction 358
§ 2. Ouvrages destinés à la visite et à la réparation des navires. 359

CHAPITRE II.

PRINCIPAUX OUVRAGES EXPOSÉS..... 361

CHAPITRE III.

COMPARAISON DES DIVERS SYSTÈMES DES OUVRAGES EXPOSÉS 367

SECTION II.

MARINE COMMERCIALE,

PAR M. DE FRÉMINVILLE.

CHAPITRE I.

TYPES ET MODÈLES DE NAVIRES EMPLOYÉS DANS LA MARINE COMMERCIALE POUR LA NAVIGATION MARITIME OU FLUVIALE; MACHINES A VAPEUR APPROPRIÉES A CE SERVICE; EMBARCATIONS A VAPEUR

§ 1. Types de navires employés dans la marine commerciale.... 372
Navigation à vapeur, navires de transport 376

Pages.
Choix du moteur pour les navires mixtes ou les paquebots. 379
Production de navires cuirassés par l'industrie privée..... 381
Navires à hélices jumelles 382
Navigation fluviale..... 383
§ 2. Machines à vapeur employées dans la marine commerciale.. 385
Compagnie des forges et chantiers de la Méditerranée..... 389
Compagnie des chantiers et ateliers de l'Océan..... 390
Ateliers du Creuzot..... 390
§ 3. Embarcations à vapeur..... 392
Société Cockerill à Seraing (Belgique)..... 395

CHAPITRE II.

MATÉRIEL DE GREEMENT, APPARAUX DE MANŒUVRE, PROTECTION ET ENTRETIEN DES CARÈNES, DOCKS FLOTTANTS, SCAPHANDRES.

§ 1. Installations relatives au gréement et à la manœuvre..... 397
§ 2. Protection et entretien des carènes.. 404
§ 3. Docks flottants, scaphandres 409

SECTION III.

MARINE MILITAIRE,

PAR M. A. DE FRÉMINVILLE.

CHAPITRE I.

TYPES ET MODÈLES DE NAVIRES EMPLOYÉS DANS LA MARINE MILITAIRE POUR LA NAVIGATION MARITIME.

Considérations générales..... 412
§ 1. Navires français..... 415
Navires cuirassés..... 416
La Gloire..... 416
La Flandre 416
Le Solférino 416
Le Magenta 417
Le Marengo..... 420
L'Alma..... 422
Le Bélier..... 424
Navire sous-marin, le Plongeur..... 427
Avisos..... 428
§ 2. Navires étrangers..... 429
Exposition anglaise..... 429
Le Warrior..... 430
Le Black-Prince..... 430
L'Achille..... 430

Pages.
Defense, Resistance, Hector, Valiant 430
Caledonia, Royal-Oak, Prince-Consort, Ocean et Royal Alfred 431
Le Zealous 431
Le Northumberland, l'Agincourt, le Minotaur 432
L'Entreprise, la Recherche, le Pallas, la Penelope 432
Le Lord Warden, le Lord Clyde 433
Le Bellerophon, l'Hercule 433
Royal Sovereign 435
Le Captain, le Monarch 436

CHAPITRE II.

MACHINES MARINES, AFFECTÉES AU SERVICE DE LA MARINE MILITAIRE.

§ 1. Sections étrangères 438
§ 2. Section française 442

SECTION IV.

BALISAGE,

PAR M. DUMOUSTIER.

Balises 442
Bouées 452
Feux flottants 453
Signaux pour les temps de brume 454

SECTION V.

SAUVETAGE,

PAR M. DUMOUSTIER.

§ 1. Origine et état actuel des sociétés de secours aux naufragés .. 457
§ 2. Matériel de sauvetage 459
Bateaux 460
Bateaux de sauvetage pour les navires 464
Porte-amarres 464
Appareils divers 465
Ceintures 465

SECTION VI.

ARSENAUX ET ÉTABLISSEMENTS DE LA MARINE MILITAIRE.

PAR M. PASQUIER-VAUVILLERS.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 467

CHAPITRE II.

Pages.

TRAVAUX HYDRAULIQUES DES ARSENAUX..... 468

CHAPITRE III.

BATIMENTS CIVILS DES ARSENAUX.

§ 1. Considérations générales..... 471
§ 2. Arsenal de Cherbourg..... 472
§ 3. Arsenal de Brest..... 474
§ 4. Arsenal de Lorient..... 475
§ 5. Arsenal de Rochefort..... 475
§ 6. Arsenal de Toulon..... 476

CHAPITRE IV.

USINES DE LA MARINE..... 478

CHAPITRE V.

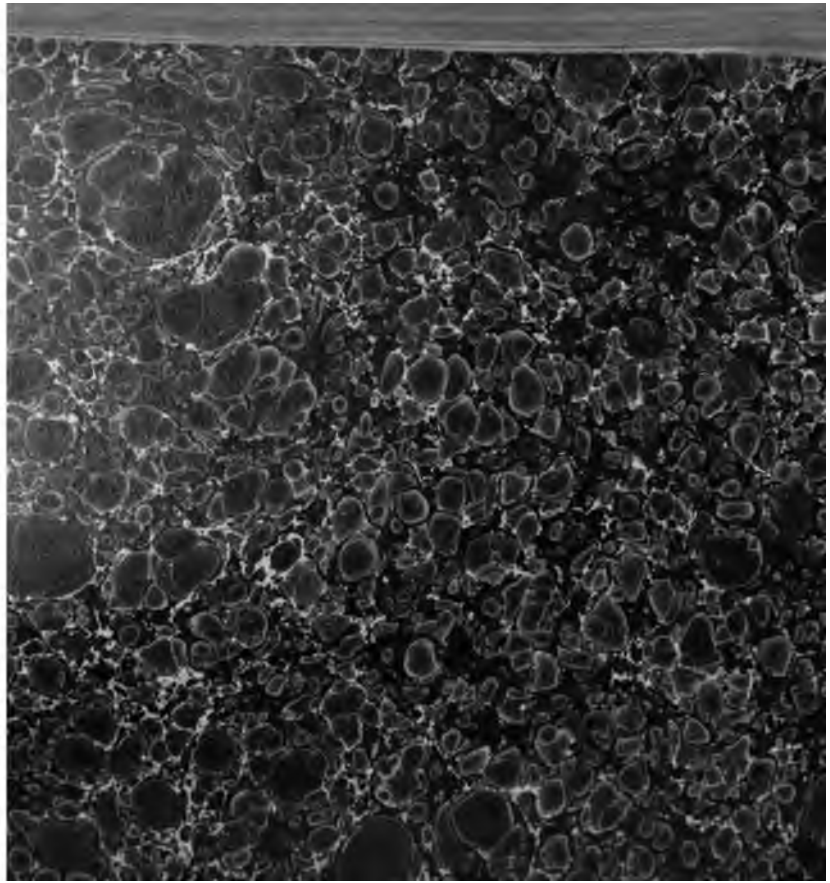
TRAVAUX HYDRAULIQUES ET BATIMENTS CIVILS DES COLONIES..... 479

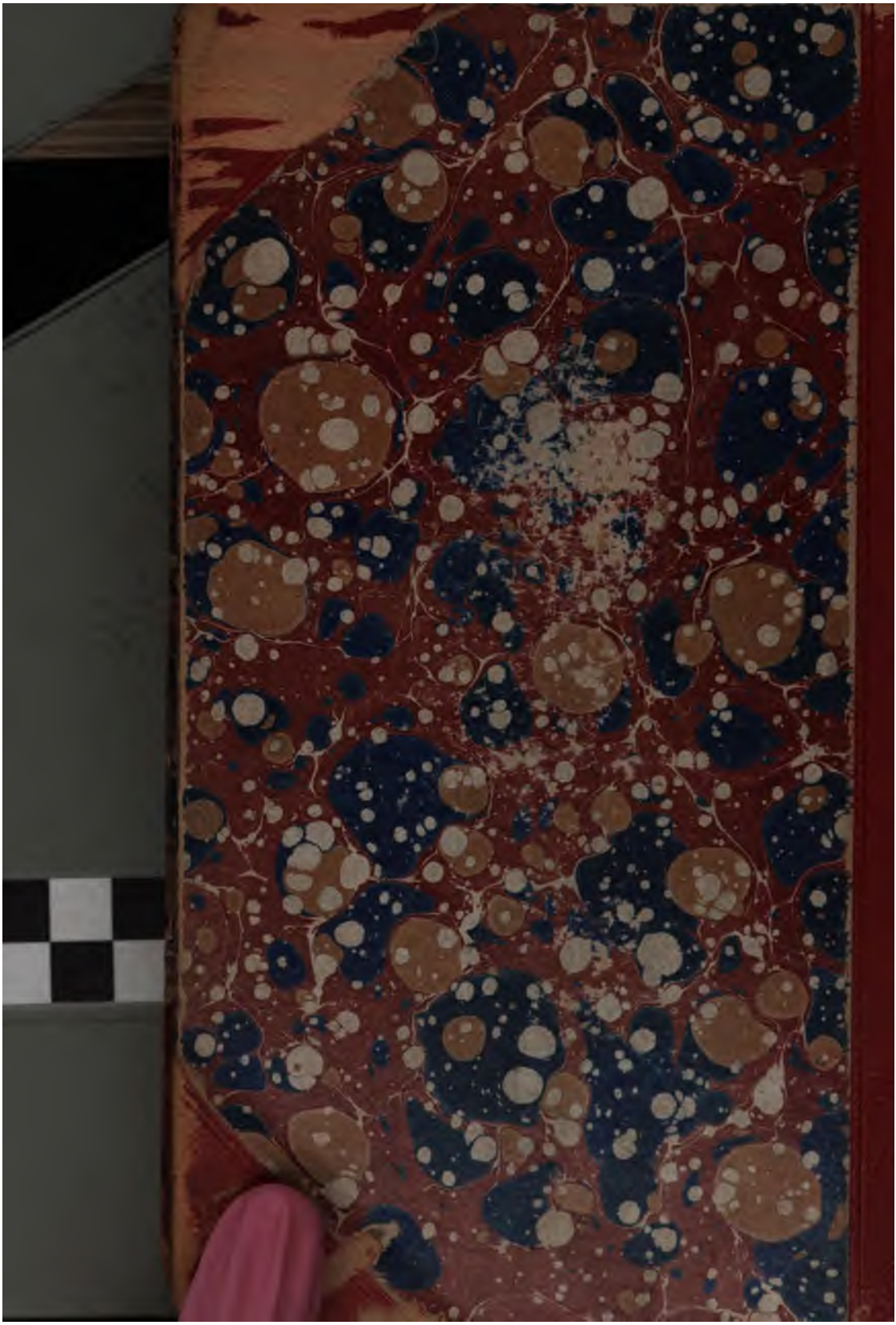
CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION..... 480

FIN DE LA TABLE DU TOME X.

Paris.-imp. PAUL DUPONT, 45, rue de Grenelle-Saint-Honoré.



THE BORROWER WILL BE CHARGED AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT RETURNED TO THE LIBRARY ON OR BEFORE THE LAST DATE STAMPED BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE NOTICES DOES NOT EXEMPT THE BORROWER FROM OVERDUE FEES.

CANCELLED
SEP 2 0 1983
739098